

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

# **НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання курсової роботи  
для студентів напрямку підготовки 6.050504 «Зварювання»

Затверджено Методичною радою ЗФ НТУУ «КПІ»

Київ  
2013 р.

Наплавлення та напилення. Методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів напрямку підготовки 6.050504 «Зварювання» /Укл. В.М. Корж, В.В. Квасницький, Ю.С. Попіль, Д.В. Степанов, О.С. Василенко – К.: ЗФ НТУУ «КПІ»2013.- 59с

Гриф надано Методичною радою  
ЗФ НТУУ «КПІ» (Протокол № 5 від 28. 01. 2013 )

Навчальне видання  
**НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ**  
Методичні вказівки  
до виконання курсової роботи  
для студентів напрямку підготовки 6.050504 «Зварювання»

Укладачі: Корж Віктор Миколайович, доктор технічних наук, професор  
Квасницький Віктор Вячеславович, доктор технічних наук, професор  
Попіль Юрій Станіславович, кандидат технічних наук, доцент  
Степанов Денис Володимирович, асистент  
Василенко Олександр Сергійович

Відповідальний редактор: В.Д. Кузнецов, д.т.н., професор

Рецензент: Р.М. Рижов, д.т.н., професор

Київ 2013

## Зміст

Вступ.....	4
1 Загальні вимоги до оформлення роботи.....	5
1.1 Тема та вихідні дані до виконання курсової роботи.....	5
1.2 Документи курсової роботи та їх позначення.....	5
1.3 Зміст і оформлення пояснювальної записки.....	6
1.4 Зміст та оформлення графічної частини роботи.....	10
2 Методичні вказівки до розробки технологічних процесів напилення.....	13
2.1 Загальні положення.....	13
2.2 Матеріали для газотермічного напилення покриття.....	16
2.3 Вибір методу напилення покриття.....	22
2.4 Технологічні процеси підготовки поверхні для нанесення покриття.....	26
2.5 Розробка технологічних процесів газотермічного нанесення покриття.....	35
2.6 Вибір технологічного обладнання.....	
3 Методичні вказівки до розробки технологічних процесів наплавлення.....	
4 Типові завдання до курсової роботи.....	

## Вступ

Курсова робота є заключним етапом вивчення дисципліни «Наплавлення та напилення» нормативної частини ОПП циклу професійної та практичної підготовки бакалавра напряму підготовки 6.050504 «Зварювання», яка складається з двох кредитних модулів: «1.Основи наплавлення» та «2.Основи напилення» загальним обсягом 288 годин.

*Мета курсової роботи* – закріплення теоретичних знань та практичних навичок вирішення конкретних технологічних завдань, вміння користуватися технічною літературою та нормативними матеріалами.

*Завданням курсової роботи* є аналіз умов роботи виробу і його технологічності щодо нанесення покриття, техніко-економічне обґрунтування вибору способу створення поверхні з визначеними властивостями напиленням або наплавленням; визначення методу нанесення функціонального покриття на поверхню деталі; призначення матеріалів для напилення або наплавлення; вибір типових техпроцесів підготовчих операцій; розробка технологічного процесу нанесення покриття з призначенням необхідних технологічних параметрів процесу; призначення необхідного стандартного технологічного обладнання для реалізації розробленої технології нанесення покриття

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

## 1.1 ТЕМА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Теми курсових робіт – розробка технологічного процесу для нанесення функціонального покриття на деталь або конструкцію наведену у додатку А з спеціальними властивостями поверхні.

Вихідні дані для виконання роботи: креслення або ескіз деталі, умови її роботи та службове призначення покриття, масштаби виробництва.

Завдання на виконання курсової роботи кожен студент отримує протягом першого навчального тижня семестру з календарним графіком виконання роботи.

## 1.2 ДОКУМЕНТИ КУРСОВОЇ РОБОТИ ТА ЇХ ПОЗНАЧЕННЯ

Курсова робота складається з пояснювальної записки та графічної частини роботи.

Пояснювальна записка оформлюється згідно ДСТУ 3008-95. Рукописний текст розміщують на одній сторінці аркуша паперу формату А4.

Пояснювальна записка повинна мати наскрізну нумерацію сторінок, починаючи з титульного листа.

У відповідності до діючих стандартів для пояснювальної записки курсової роботи рекомендується такі основні надписи:

- для першого листа пояснювальної записки (перший аркуш змісту) відповідно до рисунку 1.1. для наступних аркушів пояснювальної записки відповідно рисунку 1.2.

Графічна частина проекту вміщує: робоче креслення деталі та схему технологічного процесу .

					КР ЗП08.25.000.00.00 ПЗ			
Зм	Арк.	№докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Іванов			Технологічний процес ГТН шийок колінчастих валів.	Літ	Арк.	Арк.
Перевір.		Василенко					1	
Н.контр.						НТУУ “КПІ” ЗФ гр.ЗП-08		
Затверд.								

Рисунок 1.1 - Основні надписи для першого листа пояснювальної записки.

					КР ЗП08.25.000.00.00 ПЗ		Арк
Зм.	Арк.	№ док..	Підп.	Дата			10

Рисунок 1.2 - Основні надписи для наступних листів пояснювальної записки.

Основні написи для технологічної схеми представлені на рисунку 1.4, а робочого креслення на рисунку 1.3.

					КР ЗП08.25.001.00.01				
					Клапан				
Зм	Арк.	№ док.	Підп.	Дата					
Розроб.	Коваль								
Перевір.	Василенко								
Т.контр.									
Н.контр.					Сталь 40Х ГОСТ 1435-84		НТУУ "КПІ" ЗФ гр.ЗП-08		
Затверд.									

Рисунок 1.3 - Основні надписи для робочого креслення деталі.

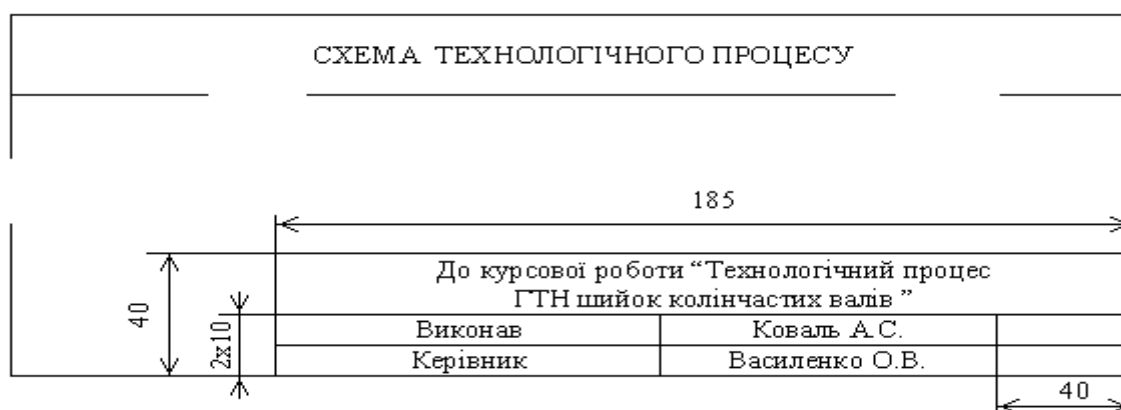


Рисунок 1.4 - Основні надписи для схеми технологічного процесу.

Структура позначення основного конструкторського документу КР.ЗП08.25.000.00.00, де КР – курсова робота, ЗП08 – номер академічної групи студента, 25 – дві останні цифри залікової книжки студента.

Позначення конструкторського документа (пояснювальної записки, креслень, схеми та ін.) повинно складатися з позначення основного документу і коду даного документу. Наприклад позначення основного документу КР.ЗП08.25.000.00.00, позначення пояснювальної записки КР.ЗП08.25.000.00.00 ПЗ, робочого креслення КР.ЗП08.25.001.00.01, позначення схеми технологічного процесу КР.ЗП08.25.000.00.00 СТ.

### 1.3 ЗМІСТ І ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальна записка до курсової роботи повинна вміщувати такі розділи:

- 1) титульний лист (додаток Б);
- 2) завдання на курсову роботу, затверджене керівником (додаток В);
- 3) зміст;
- 4) вступ;
- 5) аналіз вхідних даних (умови роботи деталі, вимоги до властивостей поверхні і спеціальні якості деталі);
- 6) обґрунтування та вибір матеріалу для напилення (виходячи з аналізу умов роботи деталі, характеристики складу та властивостей матеріалу);

7) обґрунтування вибору способу створення поверхні з визначеними властивостями наплавленням або напиленням;

8) визначення методу напилення функціонального покриття виходячи з технологічних можливостей, техніко-економічних показників з урахуванням характеристик і властивостей матеріалів;

9) розробка типового технологічного процесу підготовки поверхні деталі під нанесення функціонального покриття (перелічити необхідні підготовчі операції, основну технологічну операцію, операції фінішної обробки, їх послідовність, основне обладнання, використані матеріали);

10) розробка операційного технологічного процесу напилення або наплавлення поверхні деталі (перелічити всі установи, переходи, параметри технологічного процесу: витрати газів і матеріалів: дроту, порошку; величину і напругу електричного струму, швидкість відносного переміщення деталі і інструменту, тощо. Перелічити необхідний інструмент і обладнання. При необхідності привести розрахунки основних режимних і геометричних параметрів або дати відповідні посилання на інформаційно-технічні джерела);

11) обґрунтування та вибір основного технологічного обладнання (коротка технічна характеристика основних типів установок, придатних для реалізації вибраного способу нанесення покриття, їх технологічні можливості, навести основні технічні характеристики та опис складу та принципу роботи вибраної установки для нанесення покриття, підкреслити дані, які підтверджують оптимальність прийнятого рішення по вибору установки);

12) висновки по роботі.

Пояснювальна записка має наскрізну нумерацію сторінок, починаючи з титульного листа. Схеми та ескізи, які знаходяться у записці виконуються у довільному масштабі.

Обов'язковою ілюстрацією є креслення деталі, яка напилюється. Зразок оформлення ілюстрації наведено на рис. 1.5. Ілюстрація, як правило, виконується на форматі А4 або А3.

На кресленні деталі, місце яке напилюється повинно бути позначене на тій проекції, де покриття видно у розрізі.

Контур покриття виконується суцільною лінією.





напиленого покриття, а також чистовий розмір після послідувочої обробки та позначення шорсткості поверхні після напилення.

Текст виконується рукописом, основним креслярським шрифтом, допускається виконання друкарським способом з використанням ПЕОМ чорним кольором носія. Написання формул, заповнення таблиць, заголовки розділів і підрозділів повинні виконуватися тільки стандартним шрифтом.

Відстань від рамки форми до границь тексту слід залишати:

- на початку рядка не менше 5 мм, в кінці рядка не менше 3 мм;
- відстань від верхнього або нижнього рядка тексту до верхньої або нижньої рамки форми повинно бути не менше 10 мм;
- абзаци в тексті починаються з відстані, яка дорівнює 15...17 мм від рамки форми.

Текст записки розділяють на розділи і підрозділи.

Розділи повинні мати порядкові номери в межах всього документа (частини), позначені арабськими цифрами з крапкою.

Підрозділи повинні мати нумерацію в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються із номерів розділів і підрозділів, поділених крапкою. В кінці номера підрозділу також ставиться крапка.

Розділи, як і підрозділи можуть складатися з декількох пунктів. Найменування розділів і підрозділів повинні бути короткими. Найменування розділів записуються у вигляді заголовка (симетричного тексту) прописними літерами. Найменування підрозділів записуються у вигляді заголовка ( з абзацу) рядковими літерами (окрім першої прописної). Переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх поділяють крапкою.

Відстань між заголовком розділу і текстом повинна дорівнювати 15 мм;

Відстань між заголовками розділу і підрозділу 10 мм;

Кожен розділ рекомендується починати з нового аркушу.

На першому (загальному) аркуші записки розташовують зміст, який включає номери і найменування розділів і підрозділів з вказівкою номерів аркушів (сторінок). Слово “ЗМІСТ” записують у вигляді заголовка (симетричного тексту) прописними літерами. При цьому порядковий номер змісту не присвоюють.

Ілюстрації слід розміщати безпосередньо після тексту, де вони згадувалися вперше, або на наступній сторінці.

Всі ілюстрації, якщо їх в документі більше однієї, нумерують в межах розділу арабськими цифрами. Номер ілюстрації складається з номера розділу і її порядкового номера, розділених крапкою, наприклад: Рисунок 1.2.

Посилання на ілюстрації дають на зразок “ відповідно до рисунку 1.2”.

Ілюстрації можуть мати назву, яку розміщують під ілюстрацією та пояснювальні дані (підрисунковий текст).

Ілюстрація починається словом “Рис. - “, яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних.

Допускається у вигляді додатків давати комплект технологічної документації (МК, ОК, КЕ, тощо). Додатки, як правило, виконують на аркушах

формату А4. Допускається додаток оформляти на аркушах А3. При наявності більше одного додатка їх нумерують буквами, наприклад: “Додаток А”, “Додаток Б” і т.д.

Додаток повинен починатися з нової сторінки і повинен мати заголовок, надрукований вгорі малими літерами з першої великої симетрично тексту. Над заголовком посередині рядка друкується слово “Додаток – ...” і велика літера, що позначає додаток.

Цифровий матеріал, як правило, оформляють у вигляді таблиць. Зразки оформлення таблиць наведено в тексті методичних вказівок.

Таблиця може мати назву, яку виконують рядковими літерами (окрім першої великої) і розміщують над таблицею посередині. Назва повинна бути короткою і повністю відображати зміст таблиці.

Всі таблиці, якщо їх більше однієї, нумерують в межах розділу арабськими цифрами. Номер таблиці складається із номера розділу і порядкового номера таблиці, розділених крапкою. Допускається нумерація таблиць в межах всього документа.

Над лівим верхнім кутом таблиці розміщують напис “Таблиця” і вказують номер таблиці, наприклад: Таблиця 2.1.

На всі таблиці повинні бути посилання в тексті, при цьому слово “Таблиця” в тексті пишуть повністю.

Наприкінці записки наводиться список літератури, яка використана при розробці курсової роботи.

Список літератури включають у зміст.

Якщо при написанні записки використані відомі методики розрахунку, довідкові та інші матеріали, запозичені з літератури, необхідно надати посилання на відповідні джерела у вигляді порядкового номеру цього джерела у списку літератури. Номер подають у квадратних дужках.

## **1.4 ЗМІСТ ТА ОФОРМЛЕННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ РОБОТИ**

В графічній частині курсової роботи передбачено виконання 2-х аркушів такого змісту:

- робоче креслення деталі;
- схема технологічного процесу. Виконується в залежності від змісту на плакаті формату А1 або А2.

На схемі технологічного процесу студент повинен дати послідовність виконання операцій у відповідності з розробленою типовою технологією, починаючи з підготовчих операцій і закінчуючи фінішними. На схемі повинен бути перелік всіх операцій, обладнання, технологічні пристосування, інструмент, матеріали, які використовують для виконання кожної операції і наведено спрощений ескіз деталі з позначкою поверхні, яка обробляється на даній операції. В основному технологічному процесі напилення, навести технологічні параметри процесу. Приклад схеми технологічного процесу наведено на рисунку 1.6.

На робочому кресленні деталі, яке входить до складу графічної частини наводять:

- вказівки про вибрані посадки деталей (наносять розміри з граничними відхиленнями площин, що спрягаються);
- технічні вимоги до виробів (наприклад, про застосування покриття, методів зварювання);
- технічні характеристики виробу, які необхідні для подальшої розробки робочих креслень.

Зображення виконують з максимальним спрощенням, передбаченими стандартами для робочих креслень. Складові частини виробу зображують зі спрощенням, якщо при цьому забезпечено розуміння конструкторського устрою, взаємодії основних частин і принципу роботи виробу.

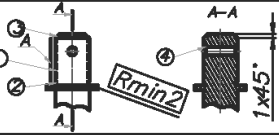
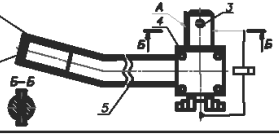
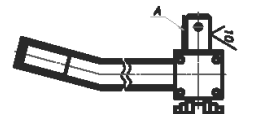
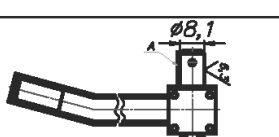
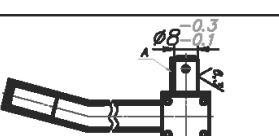
Схема технологічного процесу					
№ операції	Назва і зміст операції	Обладнання	Прийомні та інструменти	Матеріал	Екз
005	Мийка, виконати очистку всього виробу	Машина для миття 168-36 Черкаське МПО "Комплент"	Кошик	Сода кальцинована 25 кг/м	T=80°C, t=15хв
010	Контрольна. Виконати контроль якості мийки	Лінзи ЛЧ-3, ЛЧ-4	Обертач		
015	Транспортна. Транспортувати до ПМГ	Автокар	Ящик		
020	Попередня мех. обробка. Виконати: 1. Проточити поверхню А з $\phi 7,4$ до $\phi 7,2$ . 2. Проточити канавку. 3. Проточити фаску. 4. Проточити фаску.	Верстат токарно-ввинтарний 16К20	Патрон трьохшляховий різць	Масило	
025	Контрольна. Контроль параметрів механічної обробки	Обертач	Штангенциркуль ШЦ-Н-25-0,1 Мікрометр МК 50		
030	Мийка. Здійснити очистку всього виробу	Машина для миття 168-36 Черкаське МПО "Комплент"	Кошик	Сода кальцинована 25 кг/м	T=80°C, t=15хв
035	Контрольна. Виконати контроль якості мийки	Лінзи ЛЧ-3, ЛЧ-4	Обертач		
040	Транспортна. До ділянки ізоляції	Автокар	Ящик		
045	Ізоляційна. Виконати екранування поверхонь № 1,2,3,4,5	Робочий стіл	Обертач, пристосування для закріплення ізоляції.	Металева стрічка пробки	
050	Контрольна. Перевірити якість закріплення ізоляції	Обертач	Захисні щити. Лінза 2X		
055	Транспортування	Автокар	Ящик		
060	Механічна активація. Виконати струменеву абразивну обробку поверхні А	Установка 487РМ	Обертач	Електрокорунд марки 13А	
065	Контроль активації	Обертач	Лінзи ЛЧ-3, ЛЧ-4		
070	Транспортна. До ділянки наплення	Автокар	Ящик		
075	Термічна активація. Виконати підігрів поверхні А до 150 °C	Обертач	Пальник типу ГВ	Газ, природний	
080	Контроль термічної активації. Виконати вимір температури поверхні А	Робочий стіл	Обертач, термомілвець		
085	Наплення. Виконати наплення поверхні А	Установка УГМ-1	Обертач	Дріт НГ-1	
090	Контроль наплення. Перевірити візуально якість покриття	Обертач	Лінзи ЛЧ-3, ЛЧ-4		
095	Транспортування	Автокар	Ящик		
100	Кінцева механічна обробка. Шліфувати поверхню А з $\phi 8,1$ до $\phi 8$	Станок шліфувальний 3М-130В	Круг ПП 600*63*305 Мікрометр		
105	Контроль КМО	Обертач	Мікрометр МК50		
110	Транспортування	Автокар	Ящик		
115	Консервація	Обертач		Масило консерваційне	
120	Контроль консервації	Обертач	Лінза 2X		
125	Транспортування	Автокар	Ящик		
				3A93.15.02.00.001	
				Виконала ст. Савинецька КМ. вр. 3A93, 3Ф	
				Перевірив ас. Василенко О.С.	

Рис.1.6 Схема технологічного процесу наплення поверхні ричага

## 2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗРОБКИ ТЕНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НАПИЛЕННЯ

### 2.1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Курсова робота починається з вивчення конструкції виробу та умов його експлуатації. Аналіз причин виходу з ладу деталей визначає основні вимоги до експлуатаційних властивостей поверхні виробу, що забезпечують високу надійність та довговічність його роботи. Крім того, студент повинен оцінити технологічність деталі стосовно напилення при даних розмірах та конфігурації поверхні, яка зміцнюється або відновлюється, тобто відповідність конструктивної форми поверхні виробу можливості нанесення якісного покриття при високій продуктивності процесу.

При виборі матеріалів для формування покриття необхідно враховувати умови експлуатації напиленого виробу та спосіб напилення. Для отримання покриття методами газотермічного напилення можуть бути використані порошкові матеріали, дроти, гнучкі шнури, стержні, порошковий дріт і стрічки.

За функціональним призначенням газотермічні покриття виконують такі функції:

1) *ущільнююче покриття* – забезпечує необхідну стабільність зазорів у виробі або конструкції при їх експлуатації;

2) *термостійке покриття* – має необхідну працездатність при багаторазових різких змінах температури;

3) *коркове покриття* – сформоване на основі для придбання її форми та зняте з основи для використання з самостійною метою;

4) *терморегулююче покриття* – забезпечує регулювання поглинання та випромінювання поверхнею теплових потоків.

Терморегулююче покриття, яке знижує дію теплових потоків на поверхню називається теплозахисним покриттям.

5) *захисне покриття* – захищає поверхню від зовнішньої дії.

Захисні газотермічні покриття можуть розподілятися на:

- *ерозійностійкі* – покриття які знижують вплив високошвидкісних струменів на поверхню;

- *корозійностійкі покриття* – збільшують опір поверхні корозійному руйнуванню;

Корозійностійке покриття, яке збільшує опір поверхні від руйнування при високих температурах називається *жаростійким покриттям*.

6) *зносостійкі покриття* збільшують опір поверхні різним видам спрацювання.

Зносостійкі покриття в свою чергу поділяються на:

- *антифрикційні покриття*, які знижують коефіцієнт тертя у робочій парі тертя;

- *фрикційні покриття*, які збільшують коефіцієнт тертя;

- *антиадгезійні покриття*, які знижують схильність контактуючих поверхонь до адгезійної взаємодії або зчеплення.

Покриття може мати як суто функціональне призначення при виготовленні нових деталей, так і для відновлення спрацьованих деталей та виправлення браку.

При виборі зносостійкого покриття необхідно враховувати характер взаємодії пар тертя. В цих з'єднаннях необхідно прагнути до вибору покриття з мінімальним коефіцієнтом тертя. При зношуванні досить добре працюють покриття, що містять тверді частинки у пластичній матриці (основі). Покриття повинні мати високу адгезійну та когезійну міцність. Вимоги до пористості покриття не однозначні. Покриття, що працюють на тертя в умовах змащування, можуть мати значну пористість, яка може досягати 10...15%. Покриття на інструменті, особливо ріжучому, доцільно створювати з мінімальною пористістю.

Корозійностійкі та жаростійкі покриття обираються з урахуванням мінімальної взаємодії з агресивним середовищем. Покриття повинні мати невисоку пористість, особливо відкритого типу.

До терморегулюючого покриття відноситься теплозахисне покриття.

Теплозахисні покриття напильють з матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Наявність розвинутої пористості у теплозахисних покриттях підвищує їх ефективність. Для теплозахисних покриттів найбільш доцільна оксидна група матеріалів або композиційних з обов'язковим включенням оксидного компонента.

В реальних умовах експлуатації покриття повинні задовольнити комплекс вимог. Наприклад, захищати виріб від спрацьовування і корозії, або спрацьовування і дії високих температур. У цьому випадку доводиться приймати компромісне рішення.

Після вибору матеріалу студент повинен обґрунтувати вибір оптимального (раціонального) способу напилення виробу, що забезпечує необхідні у даних умовах експлуатації технологічні характеристики покриття (щільність, адгезійна міцність та інше) та високу продуктивність процесу при даних геометричних розмірах. Для цього він повинен проаналізувати по літературним джерелам існуючий досвід зміцнення або відновлення аналогічних деталей, переваги та недоліки різних способів нанесення покриття та вибрати оптимальний спосіб напилення, який дозволяє поєднати необхідні технологічні властивості покриттів з високою продуктивністю їх нанесення при даних розмірах деталей. Правильний вибір способу напилення визначається в першу чергу якісними показниками покриття і продуктивністю процесу. Тому вибір доцільно здійснювати виходячи з вимог, що висуваються до якості покриття з врахуванням технологічних властивостей матеріалу, що напилюється: температури його плавлення, форми, а також максимальної продуктивності та інших особливостей процесу.

Далі студент розробляє конкретний типовий технологічний процес виготовлення (або відновлення) виробу з функціональним покриттям. Він обирає необхідні операції та послідовність їх виконання у відповідності з схемою на рис. 2.1. При цьому необхідно вказати зміст окремих операцій та обладнання, оснащення і матеріали, необхідні для їх реалізації. Так, наприклад, підготовка поверхні виробів до напилення передбачає виконання циклу операцій: очищення і миття деталей, попередню механічну обробку (нарізання рваної різьби, нарізання

кільцевих канавок, електроіскрову обробку, тощо), обезжирювання, ізоляцію поверхонь, що не підлягають напиленню, струменевоабразивну обробку поверхні і напилення підшару. При цьому зміст циклу може змінюватись залежно від матеріалу деталі, її конфігурації, призначення покриття.

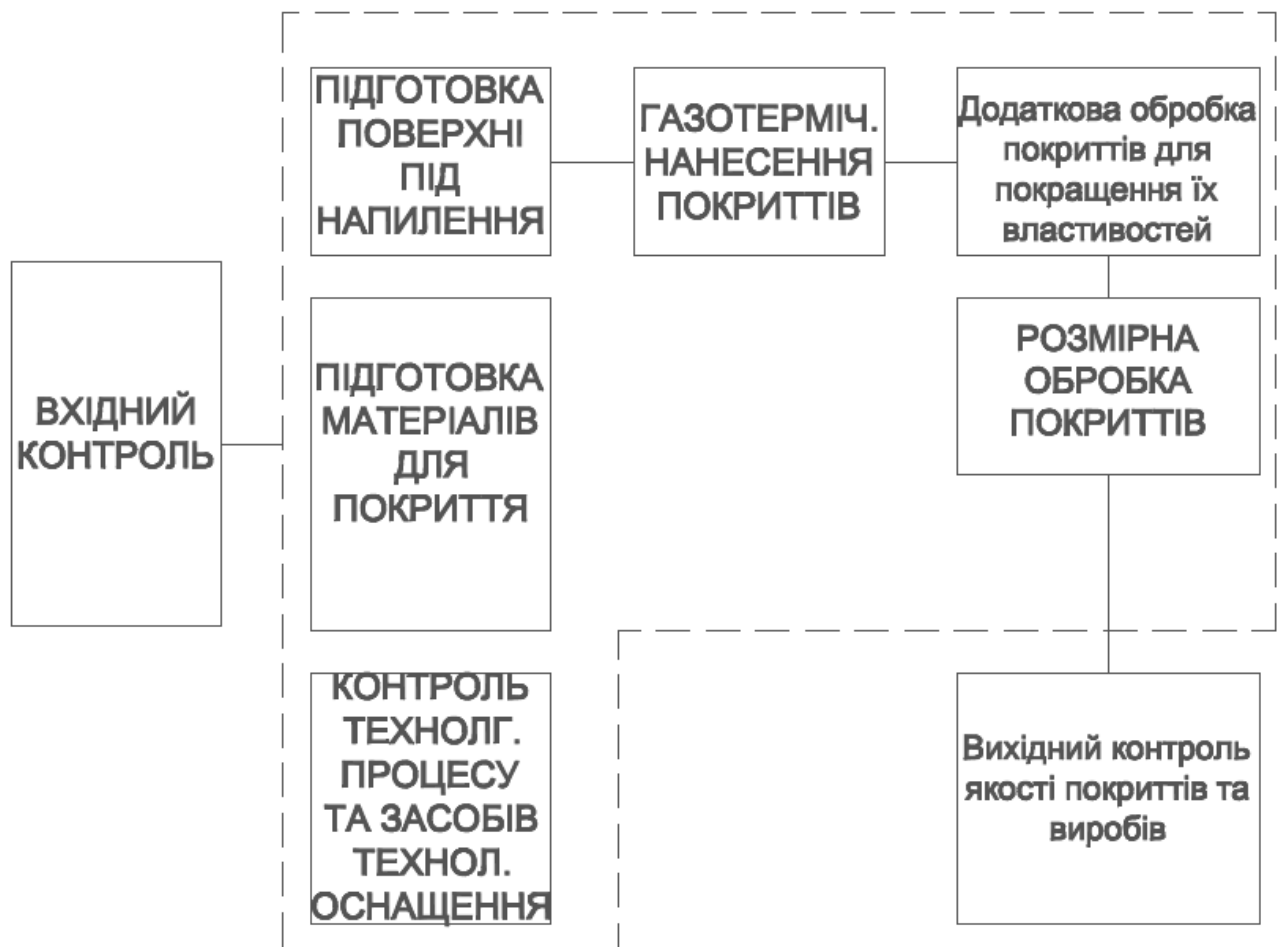


Рисунок 2.1. Технологічна схема виготовлення виробу з функціональним покриттям.

Розроблена типова технологія використовується для виконання схеми технологічного процесу графічної частини роботи і може бути оформленою у вигляді додатку як маршрутна карта, зразок якої знаходиться у додатку Г.

Для виконання основного технологічного процесу – напилення або наплавлення –, студент розробляє операційний технологічний процес.

Базуючись на обраному способі напилення для даних матеріалів, обирають основні параметри режиму напилення розрахунково або по довідковій літературі. Необхідна товщина покриття в основному визначається умовами експлуатації поверхні виробу. При відновленні спрацьованих деталей товщина покриття визначається величиною спрацьовування, а також додатково збільшується на величину попередньої та фінішної механічної обробки. Практика напилення та наступна експлуатація напилених виробів свідчить, що зі збільшенням товщини

покриттів зростає їх відшарування. Тому у всіх випадках при виборі товщини покриттів слід прагнути до мінімально можливих значень.

Для оптимізації технологічних режимів напилення обраних по довідковій літературі, можна використати методи математичного планування експерименту. Для визначення вимог до технологічного та допоміжного обладнання необхідно враховувати кінематичні параметри переміщення розпилюючого пристрою відносно виробу.

Кінематичні параметри переміщення виробу та розпилюючого пристрою в процесі напилення суттєво впливають на ефективність процесу та якість покриттів. Зокрема, при збільшенні швидкості переміщення плями напилення отримують більш рівномірні по товщині покриття, зменшується небезпека перегрівання виробу. Нанесення покриттів на задану площу відбувається за рахунок лінійного переміщення розпилюючого пристрою в поєднанні з обертанням деталі (при напиленні тіл обертання) або поперечного зміщення пристрою для розпилення в поєднанні з лінійним переміщенням деталі (при напиленні на площину). Тому необхідно визначити швидкість переміщення розпилювача або виробу, колова швидкість обертання деталі та величину перекриття проходів при нанесенні окремих валиків, яка забезпечує високу рівномірність покриттів при незначній (2...10%) відносній хвилястості поверхні. На основі обраних параметрів вибирається стандартний пристрій для закріплення та переміщення виробу в процесі напилення.

Перспективним є використання спеціальних маніпуляторів, які здійснюють переміщення плями напилення по програмі, розрахованій для конкретних умов ведення процесу та даної геометрії деталі.

Розроблена операційна технологія наводиться при виконанні схеми технологічного процесу графічної частини роботи і може бути оформленою у вигляді додатку як операційна карта, зразок якої приведено у додатку Г.

Вибір установки для напилення здійснюють, виходячи з параметрів режиму нанесення покриттів та враховуючи номінальну потужність, продуктивність по напилюваному порошку, витрати і склад робочих газів та інше. Відомості про обладнання для газотермічного напилення містяться у довідковій і періодичній літературі та каталогах [5, 6, 12, 13, 14].

## **2.2 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ПОКРИТТЯ**

Як вихідний матеріал для газотермічного напилення покриття (ГТНП), що захищає поверхню деталей від руйнівного впливу зовнішніх факторів, а також забезпечують відтворення їх розмірів після спрацьовування, використовують дрти, порошки, стержні і гнучкі шнури.

### ***Дрім.***

Позитивні властивості:

- точність і стабільність подачі при розпилюванні;
- гарантія перевodu матеріалу в розплавлений стан.

Недоліки:



- обмеженість за складом (пластичні метали, що деформуються, і сплави, як матеріал суцільного дроту, чи оболонки порошкового дроту);

- обмеженість за діаметром вихідного дроту і розміру диспергованих частинок.

### ***Порошки.***

Позитивні властивості:

- найбільша різноманітність за складом матеріалів, що напилюються (метали, сплави, оксиди, карбіди, бори́ди, силіциди, нітриди, полімери, композиційні порошки);

- найбільш універсальні з огляду на застосовність для різних методів ГТНП

- можливість широкої зміни розмірів частинок (5...150 мкм).

Недоліки:

- труднощі точного дозування і забезпечення стабільності подачі та зумовлені цим складність і дорожнеча порошкових дозаторів;

- неоднорідність нагрівання частинок із різним розміром.

### ***Стержень.***

Позитивні властивості:

- забезпечення точності і стабільності дозування матеріалу, що напилюється;

- гарантія переведення матеріалу в розплавлений стан.

Недоліки:

- обмеженість за складом;

- обмеженість за методом ГТНП (таблиця 2.1).

### ***Гнучкий шнур.***

Позитивні властивості:

- універсальність за складом (подібно до порошоків);

- забезпечення точності і стабільності дозування матеріалу, що напиляється.

Недоліки:

- обмеженість за методами ГТНП (таблиця 2.1)

- неоднорідність ступеня нагрівання частинок.

Розподіл різних видів матеріалів між методами ГТНП відповідно до принципу роботи апаратів для нанесення покриттів наведений у таблиці 2.1.

В залежності від функціонального призначення покриття для напилення можуть застосовуватись різні матеріали, характеристики деяких наведені в таблицях 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6.

Після визначення матеріалів для напилення покриття необхідно визначити марку матеріалу. Марки найбільш поширених дротяних та порошкових матеріалів наведені в навчальному посібнику [2, таблиця 2.1, стр.19; таблиця 2.2, стр. 25; таблиця 2.5, стр.31].

Таблиця 2.1. Використання різних видів матеріалів при газотермічному напиленні.

Види матеріалів для напилення покриття	Методи газотермічного напилення покриття				
	Електро дугове напилення	Газопо-луменеве напилення	Плазмове напилення	Детонаційне напилення	Газоди-намічне напилення
Дроти, в т.ч. порошкові	+	+	+	-	-
Порошки	-	+	+	+	+
Гнучкі шнури	-	+	-	-	-
Стержні	-	+	-	-	-

Таблиця 2.2 Металічні порошки для газотермічного напилення [6].

Метал	Склад, % за масою	Твердість покриття	Призначення
Алюміній	99 <i>Al</i>	—	Захист від корозії, електропровідність
Вольфрам	99...99,5 <i>W</i>	HRA 45...50	Захист від розплаву Cu, Zn
Мідь	≥ 99,7 <i>Cu</i>	—	Електропровідне, екрануюче
Молібден	99...95 <i>Mo</i>	HRc 38	Захист спрацьовуванню абразивними частками, твердими поверхнями при невисоких температурах
Нікель	99,5 <i>Ni</i>	HRB 35...70	Захист від корозії, проміжний підшар
Тантал	99...99,5 <i>Ta</i>	HRA 70	Захист від корозії
Хром	98,5...99,2 <i>Cr</i>	—	Захист від спрацьовування, корозії, високотемпературного окислення

Таблиця 2.3 Порошки із сплавів.

Сплав	Склад, % за масою	Твердість покриття	Призначення
1	2	3	4
Нікельхромовий	20 <i>Cr</i>	HRB 90	Жаростійке покриття, прошарок
Нікельборкремнієвий	1,3...2,4 <i>B</i> ; 2,3...3,5 <i>Si</i>	HRC 13...40	Захист від спрацьовування
Нікельалюмінієвий	5...31 <i>Al</i>	—	Жаростійке, прошарок
Нікельхромалюмінієвий	19 <i>Cr</i> ; 5 <i>Al</i>	—	Жаростійке, прошарок, захист деталей з нікелевих сплавів

Продовження табл.2.3.

Нікельхроммолібден-кремнієвий	15...15,5 <i>Cr</i> ; 32...32,5 <i>Mo</i> ; 3...3,4 <i>Si</i>	HRC 62	Захист від спрацьовування і корозії
Кобальтхромвольфрам	28 <i>Cr</i> ; 4...4,5 <i>W</i> ; 1 <i>Si</i>	HRC 42	Захист від спрацьовування і корозії
Мідьнікелевий	38 <i>Ni</i>	HRB 65...72	Захист від фреттінг корозії і кавітації
Алюмінійкремнієвий	12 <i>Si</i>	—	Відновлення зношених деталей з алюмінієвих і магнієвих сплавів
Маловуглецева сталь	0,1...0,15 <i>C</i>	HRC 27	Захист від спрацьовування, відновлення деталей з вуглецевих сталей
Чавун	2,8...3,5 <i>C</i>	HRC 47	Захист від зношення при невисоких тем-х абраз. частками і твердими поверхнями
Хромнікелева сталь	16...18 <i>Cr</i> ; 10...14 <i>Ni</i> ; 2,5...3 <i>Mo</i> ; 0,8...1 <i>Si</i> ; 0,1 <i>C</i>	HRB 80...92	Захист від кавітації, кор., ерозії при невисоких тем-х
Бронза алюмінієва	9,5...10 <i>Al</i> ; 1 <i>Fe</i>	HRB 50...85	Захист від фреттінг-кор., кавітації, відновл. деталей з міді
Оксиди алюмінія-титана	2,5...40 <i>TiO<sub>2</sub></i>	HRC 50...70	Захист від знош. при невисоких тем-х абразивом, електроізол., захист від розплавів <i>Zn, Al, Cu</i>
Диоксид цирконія, стабілізований оксидом кальцію	5...7 і 28...31 <i>CaO</i>	HRC 30...45	Теплоізолююче, захист від високотемперат. ерозії
Диоксид цирконію, стабілізований оксидом ітрія	6...8 і 11...13 <i>Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	HRC 35...45	Теплоізолююче покриття
Силікат цирконію	32-35 <i>SiO<sub>2</sub></i>	—	Захист від розплавів металів, скла
Карбід вольфраму	3,8...4,2 <i>C</i>	—	Захист від зношув. при невисоких тем-х абразивом
Вольфрамокобальтові тверді сплави	5...20 <i>Co</i> ; 3,6...5,7 <i>C</i>	HRC 40...60	Захист від зношув. при невисоких тем-х абразивом, при фреттінг-корозії
Вольфрамтитантантал кобальтові тверді сплави	7-9 <i>Co</i> ; 1-6 <i>TiC</i> ; 1-6 <i>TaC</i>	—	Захист від зношув. при невисоких тем-х абразивом, при фреттінг-корозії, ерозії
Карбіди хрому	<i>Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub></i> ; <i>Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub></i>	HRC 37-40	Захист від знош. при підвищених тем-х
Карбід титану	19,35...19,7 <i>C</i>	—	Захист від знош. при невисоких тем-х
Карбід вольфраму-кобальт	11...21 <i>Co</i> ; 2,4...5,5 <i>C</i>	HRC 40...60	Захист від зношув. при невисоких тем-х абразивом, фреттінг-корозії, ерозії
Карбід хрому-нікель	16...19 <i>Ni</i> ; 10,3...11,1 <i>C</i>	—	Захист від знош. при підвищ. тем-х

Продовження табл.2.3.

Алюміній-нікель	80 <i>Ni</i>	HRB 75	Захист від знош. при невисоких і підвищ. тем-х, ерозії, кавітації, фреттінг-коорзі
Титан-нікель	40 <i>Ni</i>	—	Захист від знош. і кор.
Нікель-алюміній	5 <i>Al</i>	HRB 60...80	Захист від знош. при фреттінг-кор., ерозії
Мідь-алюміній	10 <i>Al</i>	HRB 50...55	Захист від фреттінг-кор., кавітації
Чавун-молібден-алюміній	5 <i>Mo</i> ; 5 <i>Al</i>	HRC 30	Захист від знош. при невисоких тем-х абразивом, фреттінг-корозії
Ніхром-молібден-алюміній	5 <i>Mo</i> ; 5 <i>Al</i>	HRB 80...30	Захист від знош. при тем-х до 760-870 °C абразивом, фреттінг-корозії, кавітації
Оксид алюмінія-диоксид титана	13...42 <i>TiO<sub>2</sub></i>	HRC 60...70	Захист від знош. при невисоких тем-х абразивом, фреттінг-кор., кавітації, ерозії
Нікельхромборкремнієві сплави з карбідом вольфраму	30...60 <i>WC</i>	Матриця: HRC 54...62, карбід: HRC 75	Захист від знош. при невисоких тем-х абразивом, фреттінг-корозії, ерозії
Нікельхромборкремнієвий сплав з молібденом	30 <i>Mo</i>	HRC 40...54	Захист від знош. при невисоких тем-х абразивом
Карбід хрому з ніхромом	7...35 <i>NiCr</i>	HRC 32...54	Захист від знош. при підв. тем-х абразивом, при фреттінг-корозії, ерозії
Карбід хрому з кобальтом	45 <i>Co</i>	—	Захист від зношування
Диоксид цирконію з КП “нікель-алюміній”	35...65 <i>ZrO<sub>2</sub></i>	—	Захист від знош., окислення при підв. тем-х, термостійке
Оксид алюмінію з диоксидом титана	—	HRC 50	Захист від знош. при невисоких тем-х абразивом
Оксид хрому з диоксидом титана	55 <i>TiO<sub>2</sub></i>	HRC 53	Захист від знош. при невисоких тем-х абразивом

Таблиця 2.4 Порошки з мідних сплавів

Марка	Хімічний склад, %	Властивості покриття
ПР-БР АЖНМц 8,5-4-1,5	<i>Cu</i> ; 8,5% <i>Al</i> ; 4% <i>Fe</i> ; 4% <i>Ni</i> ; 1,4% <i>Mn</i>	Покриття мають високі антифрикційні властивості, та гарну зносостійкість в умовах змащування мастилом чи без нього.
ПР-БР АЖНМц 8,5-3-1,5	<i>Cu</i> ; 8,5% <i>Al</i> ; 1,2% <i>Fe</i> ; 4% <i>Ni</i> ; 1,4% <i>Mn</i>	
ПР-БР АН 8,5-3	<i>Cu</i> ; 8,5% <i>Al</i> ; 3% <i>Ni</i>	
ПР-НМ 40	<i>Cu</i> ; 1,8,% <i>Al</i> ; 1,5% <i>Fe</i> ; 41% <i>Ni</i> ; 1,1% <i>Mn</i> ; 0,3% <i>Ti</i>	
ПР-БР А 8,5	<i>Cu</i> ; 8,5% <i>Al</i>	

Таблиця 2.5 Властивості покриттів гнучких шнурів діаметром 4,2; 4,76 мм на основі оксидів.

Матеріал основи	Твердість <i>HV</i>	Температура плавлення, °C	Пористість, %	Товщина по- криття, мм	Допуск на обробку	Продуктивність напилення, г/год	Метод обробки
$Al_2O_3$ Оксид алюмінію	1000	2000	7	0,5...1	0,2...0,3	1000	Шліфувальн ий, круг (SiC)
$Al_2O_3 + TiO_2$	1400	2000	7	–	–	1000	Шліфувальн ий, круг (SiC)
$Cr_2O_3$	2000	1600	–	0,20...0,25	0,15...0,25	500	Шліфувальн ий, круг алмазний
$TiO_2$	700	1600	–	–	–	1000	Шліфувальн ий, круг (SiC)
Самофлю-суючі шнури на основі нікелю	40...60 HRC	1200	–	–	–	1000 2000	Шліфувальн ий, круг алмазний

Таблиця 2.6 Застосування покриттів з пластмас

Матеріал	Температура, °C			Рекомендовані межі застосування
	розм'якшення	розтікання	експлуатації	
1	2	3	4	5
Поліетилен	110...120	190...200	Від –20 до +50	Захист від корозії в розчинах кислот, лугів, електроізоляційні, вакуумні щільні покриття
Поліетилен 50% + Полістирол 35% + Графіт 15%	–	–	Від –10 до +50	Захист хімічного обладнання від вологих газів
Поліетилен 60% + Полістирол 30% + Сурик залізний 10%	–	–	Від –10 до +50	Захист хімічної апаратури від дії сухих газів

Продовження табл.2.6.

Поліетилен 98% + Сажа газова 2%	110...120	190...200	Від -20 до +50	Хімічно стійкі, вакуум-щільні покриття
Поліетилен 94% + Моностраль синій 3%+ Смола 101-а 3%		–	Від -10до +40	Хімічно стійкі, вакуум-щільні покриття
Полівініл-бутираль	160...170	200	Від -50 до +50	Захист від корозії в слабких розчинах кислот і лугів. Захисно-декоративні і електроізоляційні покриття
Пластмаса ПФН-12	–	–	–	Вирівнювання поверхні (в автомобільній і авторемонтній промисловості)
Пластмаса ТПФ-37	–	–	–	Теж
Поліамід II-68	–	250	–	Зносостійкі антифрикційні покриття
Капрон	–	250	–	Зносостійкі антифрикційні покриття

## 2.3 ВИБІР МЕТОДУ НАПИЛЕННЯ ПОКРИТТЯ

### *Газотермічні способи нанесення покриття.*

Газотермічні методи напилення класифікують за енергетичними ознаками та функціональним призначенням.

За енергетичними ознаками нанесення покриття(ГТНП) можна поділити на:

- *газополуменеve напилення(ГН)* – газотермічне напилення, при якому для напилення використовується струмінь продуктів горіння суміші газів, які спалюються за допомогою пальника;

- *детонаційне напилення (ДН)* - газотермічне напилення, при якому для напилення використовується струмінь продуктів детонації;

- *електродугове напилення (ЕДН)* - газотермічне напилення, при якому нагрівання металу у вигляді дроту, або стрічки спричиняється електричною дугою, а диспергування – струменем стиснутого повітря;

- *плазмове напилення (ПН)* - газотермічне напилення, при якому для напилення використовують плазмовий струмінь.

- *«холодне», газодинамічне напилення (ХГН)*, при якому для утворення покриття використовується кінетична енергія високошвидкісного (надзвукового) газового струменю, розігрітого до температур значно нижчих за температуру плавлення матеріалу, що напилюється.

- *лазерне напилення (ЛН)*, при якому для розігрівання матеріалу, що напилюється, використовується лазерний промінь, а газ, що подається співосно з

променем, транспортує порошок, який подається у зону фокусу лазерного променя.

Плазмове напилення може бути плазмово – дуговим (ПлДН), при якому плазмовий струмінь утворюється за допомогою електричної дуги, та високочастотним (ВПлН), при якому плазмовий струмінь утворюється за допомогою високочастотного розряду.

Газотермічне напилення може відбуватися у відкритому середовищі при атмосферному тиску або у контрольованому середовищі.

Газотермічне напилення, при якому у об'ємі робочої камери підтримується заданий склад та тиск газового середовища називається напиленням у контрольованій атмосфері.

Газотермічне напилення в контрольованій атмосфері, при якому безперервно підтримується завдане розрідження газового середовища називається напиленням у динамічному вакуумі.

Покриття, одержане газотермічним напиленням називається *газотермічним покриттям*.

Таблиця 2.7 Основні характеристики покриття нанесеного способами газотермічного напилення.

Параметри	Спосіб напилення				
	Електродугове	Газополуменеве	Плазмове	Детонаційне	Газодинамічне
1	2	3	4	5	6
Продуктивність, <i>кг/год</i>	2...50	1...10	3...11; 11...25	0,1...1,5	3...15
Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ)	0,8...0,95	0,8...0,95	0,7...0,9	0,3...0,6	0,7...0,9
Міцність зчеплення, <i>МПа</i>	до 48 (>15)	до 50 (>10)	до 50 (>15)	до 100 (>30)	40...80
Пористість, %	5...15	10...15	5...10	до 0,5...1,5	3...7
Межі раціональної товщини покриття, <i>мм</i>	0,5...2,5 <i>max</i> 6,0	0,5...5,0 <i>max</i> 10,0	0,05...5 <i>max</i> 10,0	0,1...0,3 <i>max</i> 0,5	від 0,25*
Форма напилюваного матеріалу	дріт	дріт, порошок гнучкий шнур, стержень	порошок, дріт	порошок	порошок
Максимальна температура нагрівання диспергованих часток матеріалу, <i>К</i>	Температура плавлення матеріалу	до 3000	до 4000	до 3000	до 600

Продовження табл.2.7.

Швидкість напилюваних часток матеріалу, м/с	50...150	20...180	50...400	600...1500	200...1200
Джерело теплоти	Електрична дуга	Полум'я ацетилен- кисень, пропан- бутан-кисень, ацетилен- повітря, водень-кисень	Плазмова дуга, пла- змовий струмінь	Вибухова хвиля $C_2H_2+O_2+A_r$ $C_2H_2+O_2+N_2$ $2H_2+O_2$ $C_3H_8+O_2+N_2$	Підігріта суміш газів повітря- гелій

\* - за один прохід.

Вибір способу нанесення покриття раціонально починати з оцінки якісних характеристик покриття (міцності зчеплення напиленого матеріалу з поверхнею деталі, пористості та інших), межі раціональної товщини покриття (показники якості покриття для різних способів напилення наведені в таблицях 2.8; 2.9; 2.10). Далі, в залежності від масштабів виробництва та розмірів і форми деталі необхідно оцінити вплив таких техніко-економічних показників, як продуктивність та коефіцієнт використання матеріалу (КВМ).

Таблиця 2.8. Характерні показники якості покриття при електродуговому напиленні (по даним фірми Sulzer Metco)

Властивості і характеристики	Матеріал покриття	Величини
Міцність зчеплення, МПа	чорні метали	28...41
	кольорові метали	14...48
Пористість, %	чорні метали	5...15
	кольорові метали	5...15
Рекомендовані товщини шару покриття	чорні метали	0,5...2,5

Таблиця 2.9. Характерні показники якості покриття отриманого при плазмовому напиленні (по даним фірми Sulzer Metco)

Властивості і характеристики	Матеріал покриття	Дозвукове плазмове напилення	Напилення у динамічному вакуумі (способи VPS/LPPS)
Температура плазмового струменю, °C		12000...16000	10000...80000
Міцність зчеплення, МПа	Чорні метали	21...34	100...400
	Кольорові метали	14...48	400...750
	Керамічні матеріали	21...41	25...55
	Карбіди	55...69	60...100
Пористість, %	Чорні метали	5...10	1...3
	Кольорові метали	5...10	1...3
	Керамічні матеріали	5...10	2...5
	Карбіди	5...10	2...5



Продовження табл.2.9.

Рекомендовані товщини шару покриття, мм	Чорні метали	0,4...2,5	0,05...10
	Кольорові метали	0,4...5,0	0,05...10
	Керамічні матеріали	0,4...5,0	0,05...5
	Карбіди	0,4...5,0	0,05...10

Таблиця 2.10. Характерні показники якості покриття, отриманного при газополуменовому напиленні (по даним фірми Sulzer Metco)

Властивості і характеристики	Матеріал покриття	Дозвукове напилення		Надзвукове напилення (HVOF)
		дротяного матеріалу	порошкового матеріалу	
Температура полум'я, до °С		3000	3000	2000...3000
Міцність зчеплення, МПа	Чорні метали	14...28	14...21	48...62
	Кольорові метали	7...34	7...34	48...62
	Самофлюсуючі сплави	—	до 83	до 62
	Керамічні матеріали	—	14...34	—
	Карбіди	—	34...48	до 83
Пористість, %	Чорні метали	10...15	10...15	2...5
	Кольорові метали	10...15	10...15	2...5
	Самофлюсуючі сплави	—	—	до 2*
	Керамічні матеріали	—	5...10	—
	Карбіди	—	10...15	2...5
Рекомендована товщина шару покриття, мм	Чорні метали	0,5...5,0	0,5...2,0	0,6...2,5
	Кольорові метали	0,5...5,0	0,5...5,0	0,6...2,5
	Самофлюсуючі сплави	—	0,4...2,5	0,4...3,8
	Керамічні матеріали	—	0,4...0,8	—
	Карбіди	—	0,4...0,8	0,4...5,0

Доцільність використання того чи іншого способу нанесення покриттів повинна визначатися в кожному конкретному випадку в залежності від експлуатаційних вимог до виробу, номенклатури деталей, їх складності, вимог до надійності та ресурсу роботи виробу, економічної ефективності способу з урахуванням необхідного обладнання, газів і матеріалів, які розпилюються.

Основні характеристики покриттів напилених різними способами представлені в таблиці 2.7.

На вибір способу напилення впливає матеріал, який використовується. Від температури його плавлення залежить вибір способу нанесення покриття по такій технологічній характеристиці, як можливість отримання максимальної температури нагрівання диспергованої частки та її швидкості.

Порівняти ефективність способів нанесення покриття можна по оцінці витрат на нанесення 1 кг покриття. До цих витрат входить заробітна платня, вартість газів, напилюваних матеріалів, обладнання.

Витрати на основну заробітну плату можна посередньо оцінити по продуктивності способів. У напрямку зменшення продуктивності їх можна

перелічити так: електродуговий – плазмовий- газодинамічний– газополуменевий – детонаційний.

По питомим витратам на газ, треба врахувати, що при електродуговому способі використовують найбільш дешевий та доступний газ - повітря, при газополуменовому та детонаційному способі використовують кисень та пальні гази (ацетилен, водень, пропан), а при плазмовому – аргон, азот, суміш аргону з воднем, гелієм. З точки зору збільшення витрат можна отримати такий ряд: електродуговий – газополуменевий – детонаційний- газодинамічний – плазмовий.

З допомогою електродугового способу наносять покриття з алюмінію, нержавіючої сталі, ніхрому, цинку, латуні та інших металів і сплавів, вартість 1 кг, яких відносно невелика.

Газополуменовим способом, крім металічних порошків і дроту, напилюють порошки в основному самофлюсуючих сплавів на нікелевій основі, вартість яких дорожче дроту у 3...10 разів. Такі порошки вимагають послідуного оплавлення у печах, установках ТВЧ або за допомогою газових пальників. Тому до витрат на напилення порошку додається витрати на оплавлення.

При плазмовому напиленні досить широко використовується нанесення зносостійкого покриття з керамічних порошків, зокрема оксидів, отриманих при виробництві абразивних матеріалів. Основна перевага - низька вартість. Але випускаються порошки з оксидних керамік спеціально для газотермічного напилення, вартість яких у декілька разів перевищує вартість самофлюсуючих матеріалів на основі нікелю.

Для детонаційного напилення, крім оксидів, використовують карбіди, бори́ди, нітри́ди та ін. Незважаючи на їх високу вартість, отримані характеристики покриття у цілому ряді випадків роблять доцільним і економічно ефективним використання цих дорогих матеріалів в поєднанні дорогим способом нанесення покриття.

Якщо враховувати вартість найбільш широковживаних в кожному способі дрітаних та порошкових матеріалів, то підвищення вартості 1 кг покриття буде відповідати такому ряду: електродугове нанесення покриття – плазмове – газополуменове- газодинамічне – детонаційне.

За питомими витратами на обладнання способи нанесення газотермічних покриттів можна розставити наступним чином: газополуменове – електродугове – газодинамічне – детонаційне – плазмове.

При виготовленні великих серій відповідальних деталей необхідно використовувати автоматизовані комплекти обладнання, які окрім установки для напилення повинні мати обладнання для кріплення та переміщення деталей та робочого інструменту, автоматизовані та механізовані лінії підготовки деталей і таке інше.

Збільшення вартості обладнання для нанесення захисних покриттів залежить від складності установки для напилення.

## 2.4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ПІДГОТОВКИ ПОВЕРХНІ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ

Якість газотермічних покриттів залежить від підготовки поверхні, яка напилюється.

*Типовий технологічний процес* виготовлення деталі з функціональним покриттям в загальному випадку передбачає наявність наступних операцій:

- відбір деталей, які відповідають технологічним вимогам;
- механічна обробка поверхні;
- обезжирювання поверхні;
- ізоляція поверхні, яка не напилюється;
- активація і формування шорсткості напилюваної поверхні;
- попереднє підігрівання поверхні;
- нанесення підшару;
- напilenня покриття;
- вилучення масок та ізолюючих елементів;
- термообробка (оплавлення) покриттів;
- контроль якості покриття;
- механічна обробка;
- контроль якості виробу.

Закінчена частина технологічного процесу, яка виконується на одному робочому місці називається *технологічною операцією*.

Технологічні операції називаються за видом виконуваної роботи. Наприклад, напилувальна, наплавлювальна, дробоструменева та ін.

Технологічна операція складається з таких елементів: установлення, перехід (технологічний та допоміжний), хід (робочий та допоміжний), позиція.

Технологічний процес, який виконується по документації, в якому зміст операції викладається без зазначення переходів та режимів обробки називається *маршрутним технологічним процесом*.

Маршрутний технологічний процес оформлюється відповідним технологічним документом – *маршрутною картою*, яка містить опис технологічного процесу виготовлення або відновлення виробу, включаючи контроль та переміщення по усім операціям різних видів у технологічній послідовності з наведенням даних про обладнання, оснащення, матеріальні та трудові нормативи.

При вхідному контролі конструкції і призначенні покриттів слід враховувати технічні вимоги до поверхні деталі, виконання яких забезпечує високі службові характеристики напиленого шару. У випадку невиконання вказаних технічних вимог, при підготовці деталі до нанесення покриття, повинна бути проведена механічна обробка напилюваної поверхні.

При вхідному контролі деталі, що напилюється, необхідно враховувати, щоб конфігурація напилюваної поверхні гарантувала нанесення покриття під кутом 60...90° (в обмежених випадках не менше 30°) між віссю струменя і поверхнею.

Напилювати поверхню у виїмках та глибоких отворах допускається при умовах, що відношення ширини чи діаметру отвору до його глибини була не

менше 2. У випадку напилення внутрішньої поверхні наскрізного отвору відношення його діаметру до довжини теж повинно бути не менш 2.

Рекомендована конфігурація поверхні деталей, конструкцій і виробів, які підлягають напиленню, для отримання високої міцності зчеплення повинна відповідати вимогам таблиці 2.11.

На поверхнях, які напилюються не повинно бути заусениць, зварювальних крапель, напливів пайки, пропалів, залишків флюсу, раковин тощо.

Механічна обробка поверхні деталей, конструкцій і виробів виконується на серійному металообробному обладнанні.

Операцію обезжирювання проводять для видалення бруду, мастила, жирових плям, які не можуть бути видалені на наступних етапах підготовки, а їх наявність суттєво перешкоджає зчепленню матеріалу покриття з поверхнею деталі, конструкції або виробу.

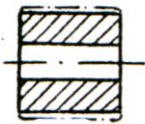
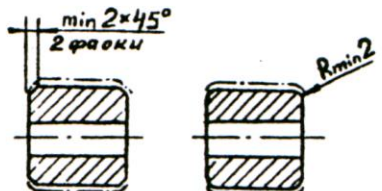
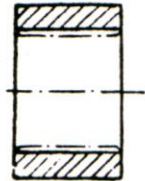
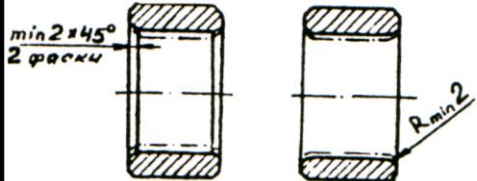
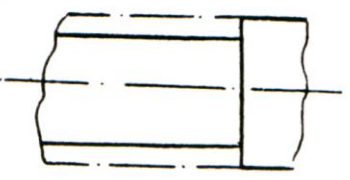
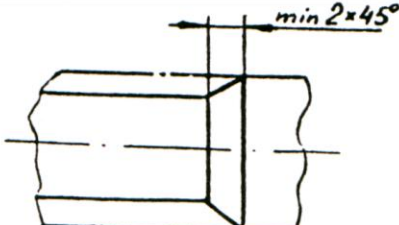
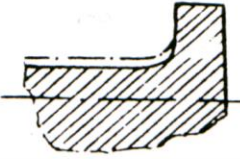
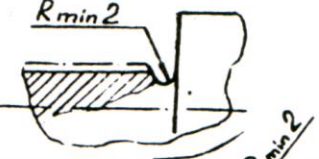
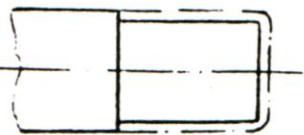

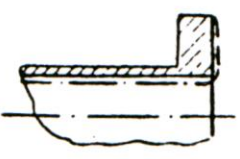

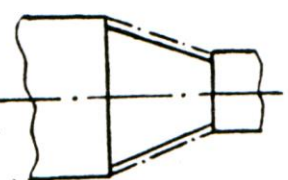
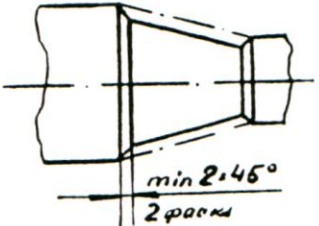
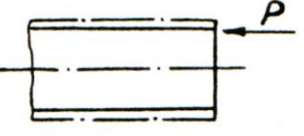
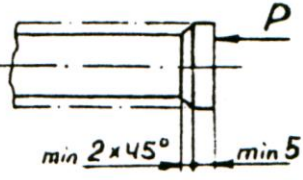
Для забезпечення надійного зчеплення основа підлягає обробці, в результаті якої видаляється оксидна плівка, формується шорстка розвита і активована поверхня. Безпосередньо перед процесом напилення покриттів допускається проводити попередній підігрів активованої деталі, конструкції або виробу з метою додаткової активації поверхні.

При підготовці поверхні деталі, конструкції, виробу перед нанесенням покриття з різко відмінними від основи фізико-механічними властивостями застосовують попереднє нанесення підшару матеріалу з проміжним значенням коефіцієнту термічного розширення і високою міцністю зчеплення.

Наявність (відсутність) тієї або іншої операції в процесі підготовки деталей, конструкцій або виробів визначається при відбиранні деталей згідно технологічним вимогам до поверхні, яку підготовлюють.

**Обезжирювання поверхні.** Загальне обезжирювання поверхні деталі, конструкції або виробу здійснюється органічними розчинниками, миючими засобами, луговими розчинниками і різними емульсіями (таблиця 2.12). Для обезжирювання поверхні перед газотермічним напиленням рекомендується використовувати миючі засоби (таблиця 2.13), оскільки органічні розчинники токсичні і мають обмежене застосування.

Таблиця 2.11. Форма поверхні деталей, яка пропонується для виробів, що напилюються.

Не вірно	Вірно
1. 	
2. 	
3. 	
4. 	
5. 	
6. 	
7. 	
8. 	

В технічно обґрунтованих випадках допускається проводити обезжирювання за допомогою щіток та іншого матеріалу, для протирання, змоченого бензином - розчинником або ацетоном.

Деталі з пористих матеріалів (наприклад, отриманих методами порошкової металургії) або чавунних відливок, які тривалий час знаходились в мастильному середовищі, після поверхневого обезжирювання, можуть підлягати відпалу при температурі 260...530°C на протязі 2...3 годин в муфельних або шахтних печах для видалення мастила з пор.

Крупногабаритні деталі складної форми можуть підлягати газополуменовому відпалюванню.

Таблиця 2.12. Органічні розчинники

Характер забруднення	Метал деталі	Розчинник	Режим обробки		
			Температура, °C	Тривалість, хв.	
				Занурення	Витримки в парах розчинника
Робочі та консерваційні мастила	Всі метали, окрім титану	Тетрахлоретилен (токсичний)	121	не менш 0.5	0,5...5,0
	Всі метали окрім <i>Ag, Ti, Al, Cu</i> і її сплавів	Трихлоретилен (токсичний)	87	не менш 0.5	0,5...5,0
Полірувальні та шліфувальні пастки	Всі метали окрім <i>Ti</i> , всі поліровані покриття	Тетрахлоретилен, катіонат-10 мас. конц. 1..3 кг / м <sup>3</sup>	121	не менш 0.5	0,5...5,0
	Всі метали окрім <i>Ti, Cu</i> і її сплавів, всі поліровані покриття окрім срібних, міді і мідних сплавів	Трихлоретилен, стабілізований, катіонат-10 мас. конц. 1..3 кг / м <sup>3</sup>	87	не менш 0.5	0,5...5,0

Обезжирювання поверхні рекомендується проводити на спеціальному серійному обладнанні для миття.

Спосіб активації і утворення шорсткості поверхні, яка готується, залежить від матеріалу та товщини стінки деталі, конструкції виробу, товщини шару покриття, конфігурації поверхні, умов експлуатації.

Підготовку поверхні деталей, конструкції або виробу з товщиною стінки менше 0,5 мм доцільно провадити травленням. В технічно обґрунтованих випадках допускається проводити активацію поверхні таких деталей або виробів струменево-абразивною обробкою електрокорундом дрібної фракції або при тиску стисненого повітря 0,1...0,3 МПа з використанням пристосувань, які попереджають деформування і короблення деталей, конструкцій та виробів.

При товщині стінки більше 0,5 мм активацію слід здійснювати абразивно-струменевою обробкою.

Підготовку деталей циліндричної форми, які працюють при підвищених механічних навантаженнях (особливо зрізуючих) допускається проводити

механічною обробкою. Підготовку основи механічною обробкою (нарізання рваної різьби) рекомендується проводити у випадку твердості поверхні не більше HRC 40.

Таблиця 2.13. Миючі засоби

Характер забруднення	Метал деталі	Масова концентрація розчину, кг/м <sup>3</sup>						Режим обробки	
		Технічні миючі засоби		Натр. їдкий,	Три натр, фосфат	Сода кальцинована	Ситанол 10	Температура, С°	Тривалість, хв.
		Типу ТМС-31	Лабомид чи Деталін, „Імпульс”						
Полірувальні та шліфувальні і пасти	Всі метали, сплави і поліровані і покриття	60...30	-	-	-	-	-	70...80	5...10
	Всі метали, сплави і покриття	-	20...30	-	-	-	-	60...80	3...10
Робочі консерваційні мастила та інші жирові забруднення	Сталі різних марок	-	-	5...15	15...35	15...35	3...5	30...60	3...20
	Алюміній і його сплави	-	-	8...12	20...50	-	-	40...70	3...10
	Всі метали, сплави і покриття окрім полірованих та алюмінію і його сплавів	-	-	-	15...35	15...35	3...5	60...80	5...20
Змашувально-охолоджувальні рідини	Всі метали та сплави	-	-	-	-	10...15	3...5	60...80	1...5

При відновленні деталей, конструкцій або виробів з поверхневою твердістю більше HRC 40, механічну обробку можна проводити після попереднього відпалу, якщо останній допускається.

При проведенні струменево-абразивної підготовки поверхні основи слід враховувати матеріал деталі, конструкції або виробу (твердість, в'язкість), умови експлуатації їх з покриттям.

В якості абразиву рекомендується використовувати шліф-зерно електрокорунду нормального марок 12А, 13А, 14А, 15А по ОСТ 2МТ 793-80 і ОСТ 2МТ 715-78 зернистістю 63Н, 63П при поверхневій твердості до HRC 40 і 80П, 80Н, 100П по ГОСТ 3647-89 у випадку твердості більше HRC 40.

Для активації поверхні з твердістю не більше HRC 40 дозволяється використовувати металічну дріб ДСК (ДКЧ) № 01, 02, 03, 04, 05, 08, 15 зернистістю 0,5...1,5 мм ГОСТ 11964-81.

Не рекомендується застосовувати металічний абразив при підготовці деталей, конструкцій або виробів з міді, мідних сплавів і інших матеріалів з великою в'язкістю при нанесенні жаростійких та корозійностійких покриттів.

Рекомендовані режими струменево-абразивної обробки різних матеріалів наведено у таблиці 2.14.

Таблиця 2.14. Рекомендовані режими струменево-абразивної обробки

Параметри		Матеріал основи					
		Чавун	Сталь HRC ≤ 40	Сталь HRC > 40	Алюмінієві сплави	Титанові сплави	Неметали
Фракція абразиву, мм		0,8...1,0	0,8...1,5	0,8...1,5	0,6...0,8	0,6...0,8	0,2...1,0
Вид абразиву		дріб, електрокорунд	дріб, електрокорунд	електрокорунд	електрокорунд	електрокорунд	дріб, електрокорунд
Діаметр сопла, мм		8...14	8...14	8...14	8...14	8...14	8...14
Тиск стисненого повітря, МПа		0,5...0,6	0,4...0,6	не нижче 0,6	0,4...0,6	0,4...0,6	0,4...0,6
Відстань від зрізу сопла до оброблюваної поверхні, мм		50...120	50...120	40...120	100...120	100...120	100...180
Кут падіння струменю на поверхню, град	Робочий	90	60...90	60...90	60...90	60...90	60...90
	Мінімальний	—	30	30	30	30	—
Лінійна швидкість переміщення пістолета, мм/хв		50...600	50...400	50...400	250...600	250...600	250...600

Шорсткість поверхні деталей, конструкцій або виробів після струменево-абразивної обробки повинна складати  $R_z = 10...160$  мкм залежно від матеріалу основи і призначення покриття.

Поверхня деталі, конструкції, виробу, яка не підлягає обробці, повинна бути захищена від дії абразивних часток екранами з металу або абразивно-стійкого матеріалу (наприклад, гуми, фторопласта та ін.).



При підготовці деталей, конструкцій, виробів з твердістю поверхні більше HRC 50, якщо їх неможливо підготувати за допомогою струменево-абразивної або механічної обробки, дозволяється активізувати зону напилення електроіскровою обробкою.

Обробку необхідно здійснювати електродами з нікелю і його сплавів у випадку сталевих основи та алюмінію і його сплавів при підготовці деталей, конструкцій і виробів з алюмінію.

Підготовка поверхні деталей, конструкцій, виробів рекомендується проводити на серійному спеціалізованому обладнанні, представленому в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15. Обладнання для електроіскрової обробки.

Параметр	Марка установки								
	ЭФИ-46	ЭФИ-54	ЭФИ-80	ЭФИ-25М	ЭФИ-23М	ЭФИ-25Ф	ЭФИ-81	ЭФИ-79	ЭФИ-78
Напруга живлення, В	220	220	220...380	220	220	220...380	220	220	220
Потужність, кВА	0,5	1,5	0,25	1,6	1,0	2,5	0,25	1,5	0,5
Робочий струм, А	2,5	2,5	-	85	18	30	-	20	10
Висота нерівностей профілю покриття, мкм	2...20	25	2...80	80	10...30	15...50	10...40	5...40	10...80
Габаритні розміри, мм	411x268x305	561x360x308	490x210x500	420x490x750	555x350x365	590x530x200	250x300x300	560x350x370	-
Маса, кг	27,5	40	30	80	50	120	10	5	45

*Примітка.* При необхідності отримання шорсткості підготовленої поверхні  $R_z$  80мкм електроіскрову обробку слід проводити на установках грубого легування ИСА-2, ИАС-3, створених ЦНИИТмашем (м. Москва)

З метою термічної активації обезжиреної шорсткої поверхні деталей безпосередньо перед нанесенням покриття дозволяється проводити попереднє підігрівання.

Попереднє підігрівання в окислюючому середовищі (повітрі) обмежується температурами 50...180 °С залежно від матеріалу основи: (таблиця 2.16).

Таблиця 2.16. Температура попереднього нагрівання

Матеріал основи	Дозволена температура нагрівання, °С
Сталь	150
Мідь та її сплави	50
Нікель та його сплави	180
Титан та його сплави	100
Алюміній та його сплави	100

Попереднє нагрівання до більш високих температур дозволяється проводити в камерах з контрольованою атмосферою або у динамічному вакуумі.

Напилення підшару пропонується у випадку нанесення покриття, яке має відмінні від матеріалу деталі, конструкції, виробу коефіцієнти термічного розширення.

При виборі матеріалу для підшару слід враховувати межові робочі температури експлуатації в окислювальному середовищі, які наведено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17. Межові робочі температури експлуатації деталей з покриттям

Матеріал підшару (марка порошку)	ГОСТ, ТУ	Орієнтовні граничні температури експлуатації покриттів, °С
МПЧ (молібден)	ТУ 48-19-69-80	315
ПХ20Н80	ГОСТ 13084-67	1200
ПН85Ю15	ТУ 14-1-3282-81	1300
ПН70Ю30	ТУ 14-1-3282-81	1500
ПТ-НА-01	ТУ 48-19-383-84	1000
ПТ-105Н	ТУ 14-1-3926-81	1000
ПТ88Н12	ТУ 14-1-3926-81	500
ПТ65Ю35	ТУ 14-1-3926-81	1300
ПРХ18Н9	ТУ 14-13540-83	500
ПН55Т45	ТУ 14-1-3282-81	200

При виборі матеріалу слід враховувати допустимі поєднання матеріалів підшару, основи і покриття для запобігання виникнення контактної корозії.

Підшар необхідно наносити на попередньо обезжирену, активовану, шорстку поверхню деталі, конструкції, виробу. Товщина підшару повинна бути не більш 0,05...0,15 мм.

У таблиці 2.18. наведені коефіцієнти термічного розширення деяких матеріалів у литому та напиленому стані у різних інтервалах температур.

Таблиця 2.18. Значення КТР матеріалів покриття та основи,  $K^{-1}$ 

Тип матеріалу	Діапазон температур, $^{\circ}C$									
	0...100	100...200	200...300	300...400	400...500	500...600	700...800	800...900	900...1000	>1000
основа										
Al(моноліт)	$23,1 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe(моноліт)	$11,5 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu(моноліт)	$16,5 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ti(моноліт)	$7,2 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg(моноліт)	$25,7 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
покриття										
W	$5,5 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$10,8 \cdot 10^{-6}$	$12,7 \cdot 10^{-6}$	$13,0 \cdot 10^{-6}$	$13,0 \cdot 10^{-6}$	$12,0 \cdot 10^{-6}$	$12,0 \cdot 10^{-6}$	-	-	-
Cu	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$11,0 \cdot 10^{-6}$	$10,8 \cdot 10^{-6}$	$10,5 \cdot 10^{-6}$	$10,5 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	-	-	-
Fe	$8,7 \cdot 10^{-6}$	$10,5 \cdot 10^{-6}$	$11,0 \cdot 10^{-6}$	$12,0 \cdot 10^{-6}$	$12,0 \cdot 10^{-6}$	$13,0 \cdot 10^{-6}$	$14,0 \cdot 10^{-6}$	-	-	-
Cu+Fe(1:1)	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$10,8 \cdot 10^{-6}$	$12,7 \cdot 10^{-6}$	$13,0 \cdot 10^{-6}$	$13,0 \cdot 10^{-6}$	$13,0 \cdot 10^{-6}$	$12,5 \cdot 10^{-6}$	-	-	-
Cu+Fe(1:3)	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$13,0 \cdot 10^{-6}$	$13,5 \cdot 10^{-6}$	$14,0 \cdot 10^{-6}$	$14,5 \cdot 10^{-6}$	$15,0 \cdot 10^{-6}$	$15,0 \cdot 10^{-6}$	-	-	-
Сталь	$16,0 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NiCr	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$10,5 \cdot 10^{-6}$	$10,9 \cdot 10^{-6}$	$11,6 \cdot 10^{-6}$	-
Ni-Cr-B-Si	$14,6 \cdot 10^{-6}$	$14,6 \cdot 10^{-6}$	$14,6 \cdot 10^{-6}$	$14,6 \cdot 10^{-6}$	$14,6 \cdot 10^{-6}$	$14,6 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-
Ni	$8,9 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiC	$7,6 \cdot 10^{-6}$									
HfC	$6,59 \cdot 10^{-6}$									
TiN	$8,1 \cdot 10^{-6}$									
HfN	$6,5 \cdot 10^{-6}$									
BeO	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$
MgO	$14,2 \cdot 10^{-6}$	$14,2 \cdot 10^{-6}$	$14,2 \cdot 10^{-6}$	$14,2 \cdot 10^{-6}$	$14,2 \cdot 10^{-6}$	$14,2 \cdot 10^{-6}$	$14,2 \cdot 10^{-6}$	$14,2 \cdot 10^{-6}$	$14,2 \cdot 10^{-6}$	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$	$10,2 \cdot 10^{-6}$	$10,9 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	$13,8 \cdot 10^{-6}$	-
TiO <sub>2</sub>	$8,19 \cdot 10^{-6}$	$8,19 \cdot 10^{-6}$	$8,19 \cdot 10^{-6}$	$8,19 \cdot 10^{-6}$	$8,19 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	-
ZrO <sub>2</sub> +CaO	$9,49 \cdot 10^{-6}$	$9,49 \cdot 10^{-6}$	$9,49 \cdot 10^{-6}$	$9,49 \cdot 10^{-6}$	$9,49 \cdot 10^{-6}$	$9,49 \cdot 10^{-6}$	$9,62 \cdot 10^{-6}$	$9,71 \cdot 10^{-6}$	$9,79 \cdot 10^{-6}$	-

## 2.5 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ

Технологічний процес, який виконується по документації, в якій зміст операції викладається з зазначенням переходів та режимів обробки називається *операційним технологічним процесом*.

Частина технологічної операції, яка виконується при незмінному закріпленні заготовки або деталі називається *установкою*

Закінчена частина технологічної операції, яка характеризується незмінною постійністю інструменту, що використовується, і поверхнею, що утворюється обробкою при незмінних параметрах режиму, або з'єднується при збиранні, називається *технологічним переходом*.

Технологічні (основні) переходи пов'язані зі зміною розмірів деталі, форми, властивостей матеріалу, тощо. Їх формують у вигляді точної вказівки про виконану дію. Наприклад, для газополуменового напилення: "Напилити основний шар товщиною 0,3 мм за один прохід під посадочне місце підшипника  $\varnothing 39$  мм на довжині 25 мм,  $G_{C_2H_2} = 1,0 \text{ м}^3 / \text{год}$ ,  $G_{O_2} = 1,2 \text{ м}^3 / \text{год}$ ,  $G_{ст.нов} = 0,5 \text{ м}^3 / \text{год}$ ,  $G_{пор.} = 4,5 \text{ кг/год}$ ,  $n_{дет} = 200 \text{ об/хв}$ ,  $V_{нальн.} = 0,25 \text{ мм/об}$ ,  $P_{C_2H_2} = 0,095 \text{ МПа}$ ,  $P_{O_2} = 0,15 \text{ МПа}$ ,  $P_{ст.нов} = 0,5 \text{ МПа}$ .

*Допоміжний перехід* – не супроводжується ніякими змінами форми, розмірів, чистоти поверхні, але необхідний для виконання технологічного переходу. Наприклад, установка заготовки, зміна інструменту, тощо.

Закінчена частина технологічного переходу, яка становить однократне переміщення інструменту відносно заготовки, яке супроводжується зміною форми, розмірів, чистоти поверхні або властивостей заготовки називається *робочим ходом*. Наприклад, напилювання одного шару металу.

*Допоміжний хід* використовується для повернення інструменту (пристрою) у вихідне положення.

Фіксоване положення, яке займає незмінно закріплена заготовка або деталь разом з пристроєм відносно інструменту або нерухомої частини обладнання для виконання визначеної частини операції називається *позицією*.

При розробці технологічного процесу нанесення покриття студент повинен вказати всі переходи з визначеними параметрами режиму напилення і показати всі переходи на схемі технологічного процесу, показати за скільки робочих ходів він отримує необхідну товщину покриття.

Необхідні параметри операційного технологічного процесу напилення можна вибрати або з технічної літератури з відповідним посиланням, або розрахувати по наведених нижче методиках.

### Газополуменеве напилення

Основними параметрами технологічного процесу газополуменового напилення є:

- витрати кисню  $G_{O_2}$ ,  $m^3 / год$ ;
- витрати пального газу  $G_{C_xH_x}$ ,  $m^3 / год$ ;
- витрати транспортуючого газу (це може бути кисень або повітря)

$G_{тр.газу}$ ,  $m^3 / год$ ;

- тиск газів (кисню, пального газу, транспортуючого газу)  $P$ , МПа;
- співвідношення між киснем і палим газом у суміші  $\beta$ ;
- витрати порошку  $G_{пор}$ ,  $кг/год$ ;

- діаметр ( $d$ , мм) та швидкість подачі дроту,  $V_{др.}$ ,  $м/с$ .

- швидкість відносного переміщення пальника для напилення та виробу  $V_{пальн.}$ ,  $м/хв$  або  $мм/об$ ;

- число обертів циліндричної деталі,  $n_{дет}$ ,  $об/хв$ ;
- дистанція напилення,  $L$ , мм.

Всі параметри технологічного процесу, які наведені в технічній літературі, як правило відносяться до конкретного устаткування та матеріалів, які використовуються.

В таблиці 2.19 наведені параметри напилення деяких порошків при використанні найбільш поширеного обладнання.

Таблиця 2.19. Параметри напилення порошкового матеріалу газополуменовим напиленням

Найменування устаткування, тип	Напилюваний матеріал	Продуктивність $кг/год$	Робочий газ			КВМ	Грануляція порошку, $мкм$
			Вид	Тиск, МПа	Витрати $м^3 / год$		
Пальник ГН-2	СНГН-50 ВСНГН, НПЧ, НПФ	7...9	Ацетилен кисень	0,1 0,35	1,7 2,4	0,75	40...150
Установка УГПЛ-П	Полімери	12	Пропан- бутан Стисле повітря	0,05...0,15 0,5...0,6	1,2	—	—
Установка УГПЛ	Цинковий порошок, полімерн.п орошок ПФН-12	7,0	Ацетилен Стисле повітря	0,03...0,1	0,8...1	0,7	5...10
		11,0		0,3...0,6	2,5...3,0		150...250

Продовження табл.2.17

Установ- ка УГПТ	ПГ-12М-01	12	Ацетилен Кисень	0,03...0,1 0,15...0,3	1,33 2,95	0,95	30...160
Установ- ка Л5405	ПГ-12Н-01	8,0	Ацетилен Пропан- бутан Кисень Стисле повітря	0,07...0,1 0,22...0,25 0,2...0,8 0,2...0,8	1,8 2,4 3,3 4,0	немає даних	до 125
Установ- ка УПН8-68	СНГН Оксид алюмінію	4,8 1,5	Ацетилен Кисень	0,035...0,5 0,4	1,7 2,2	0,8- 0,9 0,65- 0,75	30-150
Установ- ка УПТР- 1- 78	ПГ-12Н-01	9,6	Ацетилен Кисень	0,095 0,15	0,95 до 2,0	0,98	30-125

В кожному конкретному випадку нанесення покриття наведені в таблиці параметри підлягають корекції. Частіш за все для цього використовуються математичні методи планування експерименту та оптимізації технологічних процесів.

Для вихідних даних при плануванні експерименту та оптимізації технологічних процесів, окрім наведених у таблиці 2.19 даних можна використати такі середні статистичні дані рекомендовані в різних джерелах технічної літератури.

Тиск пального газу  $P_2 = 0,03...0,15$  МПа. При цьому витрати знаходяться в межах  $G_2 = 0,5...2,5$  м<sup>3</sup> / год. Тиск кисню знаходиться в межах  $P_{O_2} = 0,15...0,5$  МПа. Співвідношення між палим газом та киснем для ацетилено-кисневої суміші  $\beta = \frac{V_{O_2}}{V_{C_2H_2}} = 1,1...1,3$  і пропан-кисневої суміші

$\beta = \frac{V_{O_2}}{V_{C_3H_8}} = 3,5...4$ . Тиск повітря, який використовується для стиснення

газового полум'я  $P_{нов.} = 0,3...0,4$  МПа, витрати в межах до  $3,0...5,0$  м<sup>3</sup> / год. Якщо повітря використовується як транспортуєчий газ, його тиск буде в межах  $P_{нов.тр.} = 0,1...0,2$  МПа витрати  $0,3...0,6$  м<sup>3</sup> / год.

Дисперсність порошку, який подається в газове полум'я знаходиться в межах  $10...100$  мкм, витрати порошку  $0,5...10$  кг/год.

Діаметр присадкового дроту, який використовується при газополуменевому напиленні знаходиться в межах від  $1,0$  до  $5,0$  мм швидкість подачі в межах  $1,0...0,15$  м/с.

Дистанція напилення в залежності від матеріалу для напилення і пальної суміші, яка використовується, та обладнання знаходиться в межах 100...200 мм.

Швидкість відносного переміщення пальника відносно виробу розраховується по формулі:

$$V_{\text{пальн.}} = \frac{33,358 m \eta}{y_z r \gamma \tau}, \text{ м/хв.}$$

де  $m$  – маса напилюваного металу за одиницю часу (продуктивність), кг/хв;  $\gamma$  – густина напилюваного шару,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\eta$  – коефіцієнт використання матеріалу;  $r$  – радіус розсіювання (плями), м;  $y_z$  – товщина шару, який наноситься за 1 хвилину, м/хв;  $\tau$  – час напилення, хв.

Густина покриття деяких матеріалів наведена в таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 Густина покриття різних матеріалів і сплавів

Матеріал	$\gamma, \text{г/см}^3$	Матеріал	$\gamma, \text{г/см}^3$
Алюміній	2,35	Молібден	9,05
Силумін (12% Si)	2,32	Нікель	7,58
Латунь(70-30)	7,43	Фосфориста бронза	7,45
Латунь(60-40)	7,38	Срібло	9,10
Бронза(60-40)	7,65	Вуглецева сталь	6,77
Ніхром	7,28	Низьколегована сталь	6,84
Мідь	7,56	Нержавіючі сталі	6,98
Свинець	10,00	Олово	6,83
Магній	1,52	Цинк	5,35

### Плазмове напилення.

До технологічних параметрів процесу плазмового напилення покриття відноситься:

- напруга на дузі  $U_d, \text{В}$  та сила струму  $I_d, \text{А}$ , які визначають потужність дуги  $N_d$ ;
- вид та витрати плазмоутворюючого газу  $G_2, \text{м}^3 / \text{год}$ ;
- масові витрати порошку  $G_n, \text{кг/год}$  або діаметр дроту  $d_{dp}, \text{мм}$  та швидкість його подачі  $V_{dp}, \text{м/с}$ ;
- витрати транспортуючого газу,  $G_{тр.г.}, \text{м}^3 / \text{год}$ ;
- дистанція напилення  $L_d$ ;
- швидкість відносного переміщення плазмотрону відносно виробу  $V_{пл.}, \text{м/хв}$  або  $\text{мм/об}$ ;
- число обертів циліндричної деталі  $n_{дет.}, \text{об/хв}$ ;
- тиск газів,  $P, \text{МПа}$ ;
- грануляція порошку,  $C, \text{мкм}$ .

Технологічні параметри процесу плазмового напилення, для деякого серійного обладнання плазмового напилення при використанні найбільш поширених порошків наведені в таблицях 2.21; 2.22; 2.23; 2.24; 2.25.

Таблиця 2.21 Режими плазмово-дугового напилення покриття при використанні суміші стислого повітря з природним газом (пропан-бутаном) при роботі на установці “Київ-7”

Напилюваний порошок	Струм, <i>A</i>	Напруга, <i>B</i>	Витрати газів, $m^3 / год$			Дистанція напилення, <i>мм</i>
			Повітря	Природний газ	Пропан-бутан	
Бронза	240	210	4,5...5,0	0,3...0,5	0,11...0,15	150...180
ХВС-7	290	250	3,5...9,0	1,4...1,5	0,35...0,45	210
ПН70Х17С4Р4	300	245...250	8,5...9,0	1,4...1,5	0,35...0,45	290...300
Оксид алюмінію (глинозем ГА85)	300	210...215	4,5...5,0	0,11...0,16	0,3...0,5	290...300

Таблиця 2.22 Режими плазмово-дугового напилення на установці УМП-6

Напилюваний порошок	Струм, <i>A</i>	Напруга, <i>B</i>	Витрати газу, <i>МПа*</i>			Дистанція напилення, <i>мм</i>
			Плазмоутворюючого		Транспор- туючого	
			аргон	азот		
ПН70Ю30, ПН44Т45	280	60...75	0,2	0,2	0,06	120...140
Оксид алюмінію	280	90...110	0,2	0,2	0,06	100...110
Самофлюсуючі сплави	280	60...75	0,2	0,2	0,1	120...150

\* Тиск газу визначає витрати і встановлюється при досягненні заданої напруги.

Таблиця 2.23 Режими плазмово-дугового напилення покриттів на установці УПУ-3Д з використанням аргано-аміачної суміші.

Напилюваний порошок	Струм, <i>A</i>	Напруга, <i>B</i>	Витрати газу, л/хв			Дистанція напилення, <i>мм</i>
			плазмоутво- рюючий		транспор- туючий	
			аргон	аміак	аргон	
ПН55Т45, ПН85Ю15 ПН70Ю30, ПТ-Ю10-Н	250...270	45...50	32...40	5...10	2,0...2,8	120...140



Продовження таблиці 2.23

Оксид алюмінію	340...360	60...65	30...35	8...12	2,0...2,8	100...110
Діоксид цирконію	340...360	60...65	30...35	8...12	2,0...2,8	100...110

Таблиця 2.24 Режими плазово-дугового напилення покриттів плазмотроном з міжелектродною вставкою ПН-25

Напилюваний порошок	Струм, <i>A</i>	Напруга, <i>B</i>	Витрати газу, л/хв плазмоутворюючий, аргон	Витрати порошку, кг/год	Дистанція напилення, мм
ПН55Т45, ПН88Ю15	210...260	95...105	35...40	2,0...2,5	120...140
ПМ-ХНСР	210...220	90...95	30...35	4,0...5,0	120...160
Оксид алюмінію	240...250	95...100	25...30	1,0...1,5	100...140
Діоксид цирконію	250...260	95...100	25...30	2,0...3,0	100...140

Таблиця 2.25 Режими плазово-дугового напилення покриттів на комплекті 321.011 (м. Черкаси)

Напилюваний порошок	Струм, <i>A</i>	Напруга, <i>B</i>	Тиск газів, МПа	Витрати газу, л/хв			Дистанція напилення, мм
				плазмоутворюючий		транспортуючий	
				аргон	водень	аргон	
Інтерметалічні <i>Ni-Al</i> , <i>Ni-Ti</i> сплави термореагуючі <i>Ni-Al</i>	400...450	65...75	0,15	35...40	9,5...10,5	1,0...1,8	140
Електрокорунд 15А, рутиловий концентрат	450...500	60...75	0,15	35...40	11...12	—	120

Для плазового напилення використовують порошки грануляцією від 10 до 200 мкм. Звичайна швидкість витрат порошку становить 0,25...2,00 г/с. При використанні дроту для плазового напилення його діаметр знаходиться в межах 0,8...2,5 мм. Дистанція напилення становить 50...300 мм.

Наведені параметри потребують уточнення для конкретних умов їх використання з урахуванням конструкції плазмотрону, технологічних можливостей установки та властивостей напилюваного матеріалу.

Для пошуку оптимального режиму газотермічного напилення необхідно використовувати методи планування експерименту.

Найбільш простим методом планування експерименту є метод крутого сходження Бокса-Уилсона, який полягає в постановці послідовних, невеликих серій експериментів в кожному з яких змінюються за визначеними правилами всі фактори.

### Детонаційне напилення.

До технологічних параметрів детонаційного напилення відносяться:

- витрати кисню  $G_{O_2}$ ,  $m^3 / год$ ;
- витрати пального газу (ацетилену, пропану, водню)  $G_{C_xH_y}$ ,  $m^3 / год$
- витрати технологічного газу (азоту, аргону)  $G_T$ ,  $m^3 / год$ ;
- тиск газів  $P$ , МПа;
- співвідношення між киснем та паливим газом у суміші,  $\beta$ ;
- час циклу процесу  $\tau_{ц}$  с, або швидкострільність,  $Гц$ ;
- витрати порошку  $G_n$ ,  $кг/год$  та його грануляція  $C$ ,  $мкм$ ;
- дистанція напилення  $L_d$ ,  $мм$ ;
- швидкість відносного переміщення гармати та виробу  $V_{зар.}$ ,  $мм/хв$  або  $мм/об$ ;
- число обертів циліндричної деталі  $n_{дет.}$ ,  $об/хв$ .

Основні принципи побудови та оптимізації технологічного процесу детонаційного напилення покриття з порошкових матеріалів можна сформулювати таким чином. Всі порошки, які використовуються можна розбити на дві групи. До першої групи входять порошки з температурою плавлення матеріалів до  $2000\text{ K}$ . Для цієї групи матеріалів характерно те, що частки легкоплавкого матеріалу нагріваються до температури кипіння і при виборі режимів для таких порошків необхідно не допускати інтенсивного випаровування легкоплавкого матеріалу. У першу чергу температуру часток знижують введенням максимально можливої кількості порошку, а потім, якщо потрібно, додають в суміш технологічний (нейтральний) газ або використовують недозаповнення ствола.

Методика побудови технологічного процесу для таких порошків наступна. На першому етапі вибирають порошки з найбільш мілкою фракцією. Мінімальний розмір обмежується властивістю стабільного транспортування порошку у ствол установки і визначається конструктивними властивостями дозатора.

Потім визначається орієнтований склад вибухової суміші.

Співвідношення  $\beta = \frac{V_{O_2}}{V_{C_2H_2}}$  для таких порошків береться в межах

1,051...1,4. Для порошків, температура плавлення яких біля  $2000\text{ K}$   $\beta=1,4$ . Для зниження температури в межах  $100\text{ K}$  використовують недозаповнення ствола. Для більшого зниження температури додають у вибухову суміш

технологічний газ. Заключним етапом побудови технологічного процесу є вибір оптимального значення початкового розташування часток порошку у стволі гармати.

Технологічний процес другої групи матеріалів порошків, у яких температура плавлення вище 2000 K, будується у тій же послідовності, як і для першої групи. Але орієнтовний склад суміші  $\beta=1,4...2,5$ . Причому, чим вище температура плавлення часток тим більше береться співвідношення кисню до ацетилену. Кількість порошку, який подається у гармату визначається таким чином, щоб вона практично не зменшувала енергетичні параметри часток.

Технологічні параметри процесів детонаційного наплення на установці УДК-11 представлені у таблиці 2.26, а на установці АДК “Прометей” у таблиці 2.27.

Звичайні витрати кисню і ацетилену становлять від 0,2 до 6,0  $\text{м}^3/\text{год}$ . Тиск газів становить 0,05...0,15 МПа.

Час циклу становить 0,2...0,5 с і складається з 3-х складових:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{з}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{п}}$$

де  $\tau_{\text{з}}$  – час, необхідний для заповнення камери і стволу газовою сумішшю;

$\tau_{\text{в}}$  – час, необхідний для створення вибуху та викиду продуктів детонації та порошку;  $\tau_{\text{п}}$  – час продувки камери та стволу.

Таблиця 2.26 Параметри детонаційного наплення покриттів на установці УДК-11 з довжиною стволу 1,6 м

Параметри і характеристика процесу наплення	Матеріал для наплення					
	ВК-15	ВН-20	КХН-15	X20H80	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{ZrO}_2+7\%\text{Al}_2\text{O}_3$
Діаметр часток порошку, $\text{мкм}$	20...40	20...40	40...60	20...60	10...30	20...40
Склад суміші, $\beta$	1,1	1,1	1,1	1,1	2,5	2,5
Добавка азоту у суміш, %	20	20	25	25	15	20
Величина порції порошку г/постріл	0,3	0,3	0,3	0,15	0,1	0,15
Початкове положення порошку по довжині стволу гармати, м	0,8...1,0	0,8...1,0	0,9...1,2	1,0...1,2	0,8...1,0	1,0...1,2
Продуктивність, г/постріл	0,15	0,15	0,15	0,04	0,02	0,02

Таблиця 2.27 Технологічні параметри напилення покриттів на установці АДК “Прометей”

Параметри		Порошок		
		Нікель електролітичний ГОСТ 9722-79	Сплав карбід вольфраму – кобальт ТУ 19-4206-124-80	Оксид алюмінію ГОСТ 6912-79
Витрати робочих газів, $\text{м}^3 / \text{год}$	Ацетилен	1,3	1,3	1,55
	Кисень	1,43	1,5	2,55
	Азот	0,9	1,0	–
Швидкострільність, <i>постріл/сек</i>		4	4	4
Товщина шару покриття за 1 цикл, <i>мкм</i>		5...7	4...6	5...7
Дистанція напилення, <i>мм</i>		170	160	200
Час подачі порошку, <i>мс</i>		110	170	70
Час затримки підпалу після закінчення подачі порошку, <i>мс</i>		60...65	30...40	60
Характеристика покриття, пористість, % не більше		0,5	1.0	2.0
мікротвердість, <i>МПа</i>		2000	8000...10000	12000
міцність зчеплення з основою, <i>МПа</i>		100	60...80	25...30

Для детонаційного напилення використовують порошки діаметром 10...50 *мкм*. На протязі одного циклу на поверхню переноситься до 39...40 *мг* матеріалу, що розпилюється.

Дистанція напилення  $L_D = 50 \dots 200$  *мм*. Продуктивність напилення становить 0,5...1,5 *кг/год*. При напиленні покриттів з порошків ВК15 та ВК18С на хромонікелеву сталь міцність зчеплення покриттів залежить від відносного переміщення стволу гармати відносно виробу, і при швидкості 35 *мм/с* може сягати 100 *МПа*.

#### Електродугове напилення.

Технологічними параметрами, що визначають процес електродугового напилення є:

- струм дуги,  $I$ , *А*;
- напруга на дузі,  $U$ , *В*;
- діаметр дроту,  $d_{др.}$ , *мм* і його матеріал;
- швидкість подачі дроту  $V_{др.}$ , *м/хв*;
- витрати транспортуючого газу (повітря)  $G_n$ ,  $\text{м}^3 / \text{год}$ ;
- дистанція напилення  $L_D$ , *мм*
- швидкість переміщення металізатора відносно виробу  $V_m$ , *м/хв* або *мм/об*;
- число обертів циліндричної деталі,  $n_D$ , *об/хв*.
- кут перетинання електродів  $\varphi$ .

Діаметр дроту, який розпилюється визначається залежно від технічних характеристик металізатора, що використовується для напилення і з урахуванням стандартної номенклатури діаметрів дроту.

Основні технічні характеристики електродугових металізаторів наведені в таблиці 2.28, а стандартні діаметри дроту в табл. 2.29.

Таблиця 2.28 Основні технічні характеристики електродугових металізаторів

Марка металізатора		ЭМ-12, стац.	ЭМ-14, ручний	ЭМ-15, стац.	ЭМ-17, стац.	ЭМП-2, стац.
Робочий струм дуги, $A$		50...400	50...400	100...800	50...400	50...400
Напруга на дузі, $B$		17...35	17...44	17...35	17...40	18...50
Витрати повітря, $m^3 / год$		80...130	60...90	80...130	90...150	60...130
Тиск повітря, $MPa$		0,3...0,6	0,3...0,6	0,3...0,6	0,3...0,6	0,3...0,6
Продук- тивність, $кг/год$	$Al, \varnothing 2,0...2,5 \text{ мм}$	до 14,0	до 12,5	до 25	до 12	до 14
	$Zn \varnothing 2,0 \text{ мм}$	до 45	до 40	до 65	до 40	до 20
	Сталь $\varnothing 2,0 \text{ мм}$	до 18,8	до 18,8	10	18	14
Швидкість подачі дроту, $м/хв$		2...12	2...12	1...14	1,4...14	2...12
Маса металізатора, $кг$		22,6	2,3	15	14	8,1

Таблиця 2.29 Дротяні матеріали, які використовуються при електродуговому напиленні

Матеріал	Стандартні діаметри дроту, $мм$
Алюміній	0,8; 1; 1,2; 1,6; 2; 3; 4
Сталь (0,8% C)	1; 1,2; 1,4; 1,8; 2; 3; 4
Цинк	1,4; 2; 3; 4
Нержавіюча сталь	0,8; 1; 1,8; 2; 3

Для вибраного діаметру дроту  $d_{dp}$ , використовуючи відомості про рекомендовану для різних матеріалів щільність струму, яка використовується при електродуговій металізації, наведену у таблиці 2.30, визначаємо необхідну силу струму:

$$I = j \frac{\pi d_{dp}^2}{4},$$

де  $j$  – щільність струму,  $A / мм^2$ .

Таблиця 2.30 Щільність струму, рекомендована для різних матеріалів.

Газове середовище	Матеріал дроту	Щільність струму, $A / мм^2$
Повітря	сталь	72
	алюміній	60
	нержавіюча сталь	78
	латунь	30
	цинк	22
Азот	сталь	70
	алюміній	54

Напруга на дузі функціонально пов'язана з силою струму, довжиною дуги.

Швидкість подачі дроту можна визначити аналітичним виразом залежно від величини струму  $I$ , та діаметру дроту  $d_{др.}$ :

$$V_{др.} = \frac{7 I + 15\sqrt{I}}{(10 d_{др.})^2}, \text{ м/хв}$$

де  $I$  – сила струму,  $A$ ;  $d_{др.}$  – діаметр дроту,  $мм$ .

Режими електродугового наплення деяких матеріалів представлені у таблиці 2.31

Таблиця 2.31 Режимы електродугового наплення

Матеріал	Діаметр дроту, $мм$	Напруга, $B$	Струм, $A$	Продуктивність, $кг/год$
змінний струм				
Сталь (0,1% C)	1,6	28	160	3
Цинк	2,0	28	100	6
Алюміній	2,0	24	75	2
Бронза	2,0	28	130	5,5
Мідь	1,6	24	90	5
постійний струм				
Сталь (0,1% C)	1,6	35	185	8,5
Цинк	2,0	35	85	13

Витрати транспортуючого газу (повітря) можна визначити по формулі:

$$G_n = 0,36 F \omega \lambda, \text{ м}^3 / год,$$

де  $F$  – площа перерізу сопла,  $см^2$ ;  $\omega = 120...200 \text{ м/с}$  – швидкості витоку струменю при електродуговій металізації;  $\lambda = 0,97...0,98$  – коефіцієнт витоку.

Вплив параметрів режиму горіння дуги на характеристики покриття при напиленні дроту діаметром 2 мм з нержавіючої сталі в повітрі та газоповітряній суміші наведені в табл. 2.32.

Таблиця 2.32 Вплив параметрів режиму електродугової металізації на якість покриття

повітря + % $CH_4$	Струм дуги, $A$	Напруга дуги, $B$	Довжина дуги, $mm$	Середній розмір частинок, $mm$	Міцність зчеплення, $MPa$
100% + 0%	225	36	3,0	137,8	23,5
100% + 0%	250	44	3,0	138,0	23,6
100% + 0%	250	36	2,8	129,0	22,3
90% + 10%	225	36	2,8	130,0	22,4

На міцність зчеплення і пористість впливає розмір часток які утворюються при розпиленні дроту. Чим менше розмір часток тим ці показники кращі. З підвищенням струму середній розмір часток зменшується.

Дистанція напилення при електродуговій металізації знаходиться в межах  $L_d = 60..150$  мм.

Швидкість переміщення металізатора відносно виробу залежить від форми та розмірів плями напилення та продуктивності металізатора.

На форму плями напилення впливає кут розкриття струменя. Характерні кути розкриття струменя для різних способів напилення представлені в табл. 2.33.

Таблиця 2.33 Кути розкриття струменя

Спосіб напилення	Електродуговий	Плазмовий	Газополуменевий	Детонаційний
Кут розкриття, °	25...35	15...25	5...18	7...12

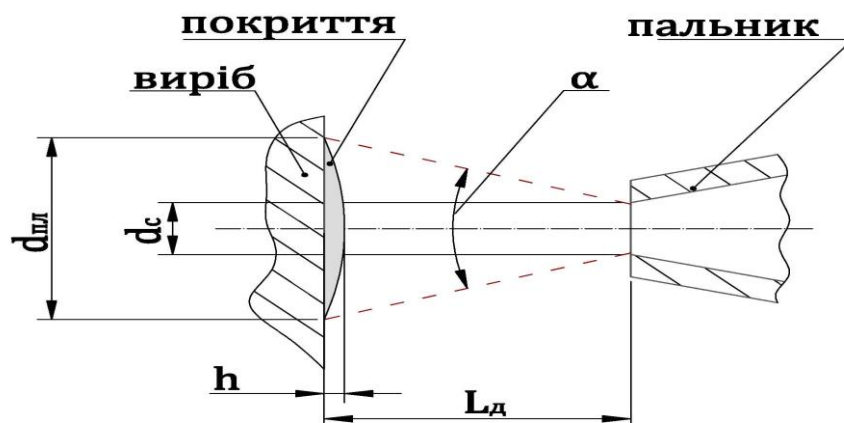


Рис. 2.2 Схема визначення діаметру плями напилення

Діаметр плями напилення  $d_{nl}$  розраховується по схемі, наведеній на рисунку 2.2 по формулі:

$$d_{nl} = d_c + 2L_{\partial} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

де  $d_c$  – діаметр сопла металізатора, мм;  $\alpha$  – кут розкриття струменю. Середня товщина плями  $h$ , мм повинна дорівнювати товщині напиленого за 1 прохід шару і вибирається з умов отримання належної міцності зчеплення покриття з основою. Для електродугового напилення  $h \approx 100 \text{ мкм} - 500 \text{ мкм}$ .

Швидкість переміщення металізатора відносно виробу можна визначити по такій залежності:

$$V_m = \frac{\pi d_{\partial p}^2 V_{\partial p} \rho_{\partial p} d_{nl} K_2}{4 m_{nl} K_1}, \text{ мм/хв.}$$

де  $d_{\partial p}$  – діаметр дроту, м;  $V_{\partial p}$  – швидкість подачі дроту, м/хв;  $\rho_{\partial p}$  – густина матеріалу дроту, кг/м<sup>3</sup>;  $d_{nl}$  – діаметр плями, мм;  $m_{nl} = \frac{\rho_{nl} \pi d_{nl}^2 h}{4}$  – маса плями, кг;  $K_1$  – коефіцієнт використання матеріалу (КВМ);  $K_2$  – коефіцієнт перекриття, який залежить від способу напилення, дистанції напилення, кута розкриття струменю і матеріалу. Середні значення  $K_2$  для різних способів напилення наведені в таблиці 2.34.

У випадку напилення порошковим матеріалом, швидкість переміщення розпилювача відносно виробу визначається наступним чином:

$$V_m = \frac{V_{\Pi} d_{nl} K_2}{m_{nl} K_1}, \text{ мм/хв.}$$

$V_{\Pi}$  – подача порошку, кг/год.

$$V_{\Pi} = G \rho_{mat},$$

де  $G$  – витрата порошку м<sup>3</sup>/год;  $\rho_{mat}$  – густина матеріалу порошку кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 2.34 Середні коефіцієнти перекриття при різних способах напилення.

Плазмовий	Електродуговий	Газополуменевий	Детонаційний
0,4...0,5	0,3...0,4	0,1...0,2	0,2...0,5

Кут між дротами впливає на турбулентність струменю і умови евакуації розплавленого металу з дроту, а також на продуктивність процесу. Залежність продуктивності напилення від кута між дротами наведена на рис. 2.3.



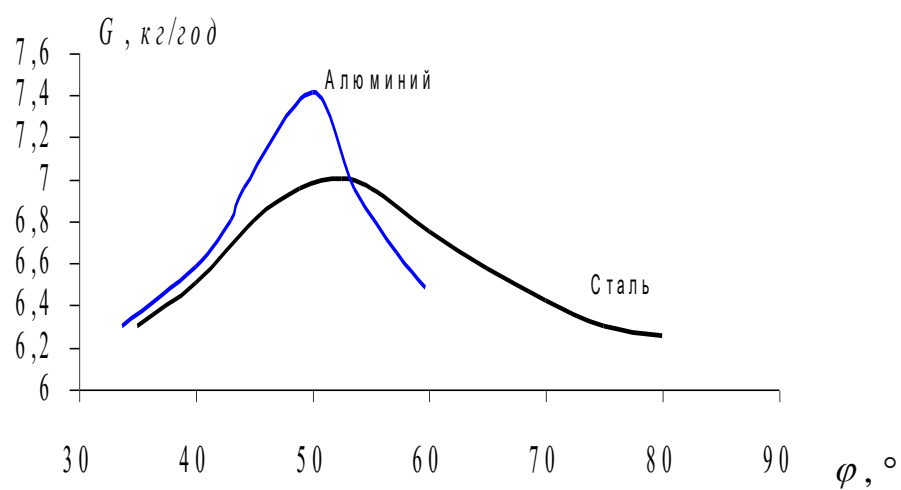


Рисунок 2.3 Залежність продуктивності наплення від кута між дротами

## 2.6 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Обґрунтування доцільності використання вибраного технологічного та допоміжного обладнання необхідно зробити з точки зору відповідності технологічних можливостей обладнання вимогам технологічного процесу та техніко-економічних характеристик обладнання.

Технічні характеристики деяких установок для газотермічного наплення наведені в таблиці 2.35, 2.36, 2.37.

Таблиця 2.35 Технічні характеристики газополуменевих установок для наплення

Характеристика		УГПЛ	УГПН-005	УГПТ	УПН-8-68	Л5405
Витрати газу, $\text{м}^3/\text{год}$	ацетилен	0,8...1,0		1,33	1,7	0,9...1,8
	пропан-бутан		0,2...3,0			0,2...3,0
	кисень		0,2...10,0	2,95	2,2	0,1...10,0
	стиснуте повітря	25...30	0,1...8			0,1...8,0
Тиск газу, МПа	ацетилен	0,03...0,1			0,035...0,05	0,07...0,1
	пропан-бутан		0,3			0,22...0,25
	кисень		0,8		0,5	0,2...0,8
	стиснуте повітря	0,3...0,6	0,5			0,07...0,35
Продуктивність, $\text{кг}/\text{год}$			6...20	12,2		1,8...10,0
$Zn$		7				
$NiCrBSi$					10	
$Al_2O_3$					1,5	
полімер ПФН-12		11				
ПГ-10Н-01				5,0		
Грануляція порошку, $\text{мм}$				30...160	30...150	0...250
	цинк	5...10				
	полімер ПНФ-12	150...250				
Ємність бункера, $\text{дм}^3$		10	8		2	2,5
Маса, $\text{кг}$		16	30		17	75
КВМ		0,85		0,9	0,7	

Таблиця 2.36 Технічні характеристики установок для плазмового напилення

Характеристики установок		УМП-6	УМП-7	Київ-7	УН102	УПУ-8	УПУ-3Д
Продуктивність <i>кг/год</i>	Порошок керамічний	0,5...4,5	5	10		5	
	Металічний	1...7	12	25		20	
	Композиційний	1...7	7		10...15		1...2
	дріт $\varnothing 0,8; 1,0 \dots 1,2$ мм						4...6
Робочий газ		азот	<i>N, Ar, He, бінарні суміші</i>	ст.повітря+ $C_3H_8$	<i>N, Ar</i>	<i>N, Ar</i>	<i>N, Ar, He, бінарні суміші</i>
Потужність, <i>кВт</i>	плазмотрона	28	30	80	70	40	400А*
	установки		50	100	127	120	
Витрати, <i>м<sup>3</sup>/год</i>	газу плазмоутвор.	4	3		3...6,3	1,8...2,9	0,9...6
	повітря			3,9...12			
	природ.газу			0,1...2			
	води	0,21	0,21			1,44	0,6
Тиск, <i>МПа</i>	газу плазмоутвор.	0,4	0,35		—	—	
	Повітря			0,5...0,6	—	—	
	природ.газу			0,2...0,3			
	води	0,25...0,5	0,35		—	—	0,4
Маса установки в комплекті, <i>кг</i>		1200	870	1150	1150	2100	—

\* – струм плазмотрону

Таблиця 2.37 - Технічні можливості напівавтоматів для напилення

Характеристики напівавтоматів			15В-Б	3201П	УН-115
1			2	3	4
Розмір деталей, мм	циліндричних	довжина	63...1500	63...1600	1200
		діаметр	20...320	25...500	600
	плоских		63...1500х40...160		
Маса деталей, кг, не більше				500	150

Продовження табл.2.37.

Циліндричних	100		
Плоских	250		
Швидкість переміщення плазмотрона, м/с			0,0002...0,16
Уздовж осі шпинделя	0,002...0,1	0,0016...0,14	—
поперек осі шпинделя	0,004...0,18	0,001...0,5	—
Кількість координат переміщення плазмотрона	—	3	—
Частота обертів шпинделя, об/хв.	22,5...500	20...400	6...300
Габарити напівавтомата, мм	3850x5900x2500	4850x4850x2400	4600x3100x2470
Маса напівавтомата, кг не більше	4200	5700	4200

Основні технічні характеристики електродугових металізаторів наведені в таблиця 2.28, а деяких установок для детонаційного напилення у таблиці 2.38.

Таблиця 2.38. Технічні характеристики ДТУ.

Параметр	«Молнія»	«Гамма»	«Днепр-1»	«Днепр-2»	«АДК-1»	«АДК-1М»	«Перун»	«ДНП-5»	«ДНП-8»	«УДК-2»	«УН102»
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Робочі гази: пальний	АЦ	АЦ	АЦ,ПБ	АЦ,П Б	АЦ	АЦ	ВД	АЦ,ПБ	ПБ	АЦ	АЦ
флегмату- ючий		А	А	А	А	А	-	А,ВЗ	А,ВЗ	А	А
Транспортую чий	А,ВЗ	А	А,ВЗ	А,ВЗ	А	А	-	А,ВЗ	ВЗ,А	А	А
Тиск, МПа:											
ацетилену	≤0,15	0,15	0,02..0,9	0,14	0,15	0,12..0,4	-	≤0,15	-	-	0,12
пропан- бутану	-	-	0,02..0,2	0,2	-	-	-	0,02..0,2	0,02..0,2	-	-
кисню	≤0,20	0,20	0,02..0,2	0,2	0,5	0,3..0,5	-	0,02..0,2	0,02..0,2	-	-
азоту	≤0,36	0,36	0,06..0,6	0,3	0,8	0,7..0,8	-	0,02..0,2	0,02..0,2	-	0,02..0,4
повітря	-	-	0,06...0,6	0,4	0,4	0,4..0,6	-	0,06..0,2	0,06..0,4	-	-
Витрати, м³/год											
ацетилену	0,72.....8,65	0,72..8,65	-	-	1,2..2,25	1,75..3,2	-	≤4,5	-	-	-
пропан- бутану	-	-	-	-	-	-	-	≤4,5	≤1,5	-	-
кисню	1,44.....10,8	1,44..0,8	-	-	1,2..2,25	1,75..3,2	-	≤4,5	≤5,0	-	-
азоту	0,72..6,5	0,72..6,5	-	-	5,0..8,0	5,8..8,0	-	≤4,5	≤0,9	-	-
повітря	-	-	-	-	20..25	20..25	-	≤ 4,5	≤0,9	-	7..8

Продовження табл. 2.38

Внутрішній діаметр стволу (вихідні ділянки), мм	20	20	22	22	21,5	21,5	12	20	25,20,10	24	12
Швидкість, Гц	2..6	2..6	2..5	2..10	2..4	3..6	1	1,5..4	4..6	1..7	4
Установча потужність	250	250	300	200	350	1500	-	250	360	-	3000
Габаритні розміри гармати, м: довжина	1,5..1,8	1,3	1,65((Г), 1(В))	1,8	2,05	1,85	-	1,5	0,835	1,8	-
ширина	0,6	0,85	0,6(Г); 1,0(В)	0,6	1,25	1,075	-	0,345	0,405	0,7	-
висота	0,96	2,6	1,1(Г); 2,6(В)	1,1	0,45	0,5	-	0,67	0,47	2,2	-
Витрати води на охолодження, м <sup>3</sup> /год	0,47	1,08	0,72	0,72	1,0	1,5	-	≤1,0	≤1,0	≤1,5	≤1,0
Маса гармати, не більше, кг	200	350	-	-	170	170		50	36	-	835
Розташування стволу	Г	В	Г,В	Г	Г	Г	Г	Г	Г,В	Г	Г

Позначання: АП-ацетилен; ПБ-пропан-бутан; ВД-водень; ВЗ-повітря; В-вертикальне розташування; Г-горизонтальне.

## Література

1. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. Інженерія поверхні.-Киев: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2007.-558с.
2. Корж В.М., Кузнецов В.Д., Борисов Ю.С., Ющенко К.А. Нанесення покриття: Навчальний посібник/ За редакцією академіка НАН України К.А. Ющенка.-К.: Аристей, 2005.-204 с.
3. Корж В.М. Технологія та обладнання для напилення: навч. посібник. К.: НМЦ ВО, 2000. – 152 с.
4. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовский. – Киев: Наук. думка, 1987. – 544 с.
5. Газотермическое нанесение покрытий. Сборник руководящих технических материалов. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона АН УССР, 1987. – 175 с.
6. Методичні вказівки до практичних занять, розрахунково-графічних робіт з дисципліни “Технологія та обладнання для напилення” / Корж В.М., Попіль Ю.С. – К. НТУУ “КПІ”. 2000 р. – 48 с., укр.
7. Ивашко В.С., Киприянов И.Л., Шевцов А.И. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. – Минск: Наука і тэхніка, 1996. – 375 с.
8. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование экспериментов в технологический исследованиях. – К.: Техніка, 1975. – 315 с.
9. ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – Введення 01.01.1996 р.
10. ГОСТ 2.105-95. Межгосударственный стандарт ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. К.: Госстандарт Украины, 1996.
11. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов. В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
12. Харламов Ю.А. Детонационно-газовые установки для нанесения покрытий (обзор). Автоматическая сварка №11, 1989. – с. 21...24.
13. Оборудование для плазменного нанесения покрытий. Каталог. М.: ВНИИТЭМР, 1988. – 17 с.
14. Справочник. Сварочное оборудование, расходные материалы, вспомогательное оборудование, сырье для изготовления электродов, газосварочное оборудование, оборудование для специальных способов сварки, резки, наплавки и напыления. Киев.: Сварка, 1994. – 100 с.

### Типові варіанти завдань на курсову роботу

№ варіанта	Назва виробу	матеріал	Умови спрацювання або призначення	Товщина покриття, мм	№ ескизу
1	Привідне колесо крана	Ст. 55Л	абразивностійке, стійке до стирання, опір зминанню	5	1
2	Ніж маторубки	У6	антифрикційне, корозійностійке	0,2	2
3	Лемех плуга	Ст.6	абразивностійке, корозійностійке	0,3-0,7	3
4	Гребний гвинт	Ст. 25Л Ст. 08Х14НДЛ	кавітація, корозія	0,35	4
5	Диск культиватора	Ст. 45	абразивне	0,3	5
6	Диск культиватора	Ст. 5	абразивне	5	6
7	Шнек бетононасоса	Ст. 65Г	корозійностійке, абразивностійке, ущільнююче	0,5 3	7
8	Палець поршня	12ХНЗА Ст. 15Х	антифрикційне	0,1-0,3	8
9	Долотовидний лемех плуга	Ст. 45	абразивностійке, корозійностійке	1 4	9
10	Зуб ковша екскаватора	Ст. Г13Л	абразивностійке, стійке до втомних напружень	100	10
11	Лопатки вентилятора	Ст. 08КП	газоабразивне спрацювання	0,1	11
12	Шнек ґрунтозбірника	Ст 65Г	абразивне, зносостійке, ущільнююче	2	12
13	Ротор живильника низького тиску	10ХСНД	ущільнююче	5	13
14	Бил дробилка ИРК-1	Ст.45	абразивностійке, ударні навантаження	0,5-0,65	14
15	Гільза пресформи	Ст. 20	розгар	2	15
16	Поршень	Ал 4	ерозійностійке	0,09-0,1	16
17	Фурма доменної печі	Мідь М1 30ХГСА	термостійке	0,5	17
18	Дверна ручка	Ст.3	корозійностійке, декоративне	0,1-0,2	18



19	Ємність для цементації деталей	Ст.20	Антиадгезійні, ерозієстійкі	0,3	19
		Ст.3		2	
20	Колінчастий вал автомобіля	ст. 30ХГСА	ущільнююче, антифрикційне	0,5	20
		Ст.45		1	
21	Резервуар для збереження лугів	Ст.3	корозійностійке	0,5	21
		X19H9T			
22	Валок ткацького верстату	Ст.45	антифрикційне	0,9	22
		X18H10T		2	
23	Вал картонажної машини	Ст.5	Фрикційне, абразивне спрацювання	2	23
		Ст. 30ХГСА			
24	Різець відрізний	P18, P9	антифрикційне	0,5	24
				3	
25	Дорожній відбійник	Ст.3	корозійностійке	0,5-1	25
26	Клапан ДВЗ	Сталь 40Х	ерозійностійке, ущільнююче	1	26
27	Лезо скальпеля	Ст. У8	антифрикційне	0,05-0,09	27
28	Канфорка електроплитки	СЧ-20	термостійке, жаростійке	0,09-0,1	28
		ВЧ-35			
29	Каток трактора	Ст.45Х	абразивностійке, опір зминанню, корозійностійке	4	29
30	Каток асфальто-укладчика	Ст. 10	абразивностійке, термостійке,	2	30
31	Вал екструдера елеватора	X18H10T	корозія, абразивне спрацювання	1	31
32	Вал ткацького верстату	Ст. X18H9T	антифрикційне	1	32
33	Шків	СЧ 12-28	стирання	3	33
34	Ступиця шківу двигуна	Ст. 45	зминання, тертя металу по металу, схоплювання	1,5	34
35	Тепло-електроізолятор парового котла	Ст.20ХГС	термостійке	0,5	35
		АМГ 6			
36	Опорний каток бульдозера	Ст. 45Л	абразивностійке, опір зминанню, корозійностійке	10	36

# Ескізи завдань

